

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

Конструювання пристроїв точної механіки

Лабораторний практикум

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 173 «Авіоніка»,
спеціалізацією «Системи керування літальними апаратами та комплексами»*

Рекомендовано на засіданні
кафедри СКЛА від 30.08.2019,
протокол № 1.

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Конструювання пристроїв точної механіки: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 173 «Авіоніка», спеціалізації «Системи керування літальними апаратами та комплексами» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. М. Нечипоренко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,29 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 60 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 01.04.2019 р.)
за поданням Вченої ради Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 8 від 25.03.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Конструювання пристроїв точної механіки

Лабораторний практикум

Укладач: *Нечипоренко Олена Миколаївна*, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний
редактор *Рижков Л.М.*, д.т.н., професор

Рецензент *Кришталь В.Ф.*, к.т.н., доцент, доцент кафедри динаміки і
міцності машин та опору матеріалів «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Навчальний посібник містить усі необхідні студенту відомості щодо підготовки до виконання, виконання та захисту лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання пристроїв точної механіки». Метою лабораторних робіт є дослідження схем і конструкцій різних пристроїв, що використовуються на літальних апаратах в системах керування, орієнтації і навігації. Навчальний посібник для виконання та захисту лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання пристроїв точної механіки» потрібен для вивчення студентами основ конструювання і перевірки працездатності цих пристроїв в умовах, наближених до реальних умов експлуатації.

Навчальний посібник «Конструювання пристроїв точної механіки: лабораторний практикум» призначений для студентів спеціальності «Авіоніка» спеціалізації «Системи керування літальними апаратами та комплексами».

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	5
I. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ І КОНСТРУКЦІЙ ЧАСТОТНИХ ДАТЧИКІВ ВИМІРЮВАННЯ АБСОЛЮТНОГО ТИСКУ ТА ВИСОТИ ПОЛЬОТУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ	6
II. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ І КОНСТРУКЦІЙ МАГНІТОМЕТРІВ ТА МАГНІТОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	33
III. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ, КОНСТРУКЦІЇ І НАДІЙНОСТІ МІНІАТЮРНОГО АЛЬТИМЕТРА НА БАЗІ П'ЄЗОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА БАРОМЕТРИЧНОГО ТИСКУ ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРІВ	45

ВСТУП

Робочою навчальною програмою кредитного модуля “Конструювання пристроїв точної механіки” передбачено виконання лабораторних робіт з дослідження схем і конструкцій різних пристроїв, що використовуються на літальних апаратах, для вивчення студентами основ конструювання і перевірки працездатності цих пристроїв в умовах, наближених до реальних умов експлуатації.

Навчальних посібник містить усі необхідні студенту відомості щодо підготовки до виконання, виконання та захисту лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання пристроїв точної механіки».

Навчальних посібник призначений, насамперед, для студентів-бакалаврів спеціальності «Авіоніка», але може використовуватися для навчання і поглиблення знань студентами приладобудівних спеціальностей.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Кожну лабораторну роботу студент виконує індивідуально в такій послідовності:

- попередньо самостійно готується до виконання лабораторної роботи. У процесі підготовки необхідно чітко знати, що необхідно досліджувати, як і на якому устаткуванні проводити дослідження і вимірювання, які експериментальні результати повинні бути отримані, за якими математичними формулами повинні бути оброблені експериментальні результати, які висновки щодо проведених досліджень повинні бути зроблені;
- до виконання лабораторної роботи готує протокол виконання лабораторної роботи;
- виконує завдання на лабораторну роботу в навчальній лабораторії;
- заповнює звіт про виконання лабораторної роботи, робить необхідні розрахунки, висновки і захищає перед викладачем отримані результати за графіком викладача.

Перед виконанням лабораторної роботи викладач перевіряє ступінь готовності кожного студента шляхом опитування студентів або тестового контрольного завдання. При повній відповіді на питання або позитивній оцінці за тестовим завданням студент допускається до виконання лабораторної роботи.

Звіти про виконання лабораторних робіт оформлюються на аркушах А4.

Звіти зберігаються у студента (використовуються для підготовки до заліку) і надаються на залік з дисципліни.

I. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ І КОНСТРУКЦІЙ ЧАСТОТНИХ ДАТЧИКІВ ВИМІРЮВАННЯ АБСОЛЮТНОГО ТИСКУ ТА ВИСОТИ ПОЛЬОТУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

1. Мета роботи

1.1. Вивчення схем і конструкцій пристроїв та експериментальне дослідження їх статичних характеристик на прикладі частотних вимірювальних перетворювачів (датчиків) вимірювання барометричного (абсолютного) тиску (ЧВП БТ) та висоти польоту літального апарату (ЛА).

2. Стислі теоретичні відомості

2.1. Прилади вимірювання висотних та швидкісних параметрів. На борту літальних апаратів застосовується група приладів [1], які подають інформацію про висотні та швидкісні параметри на основі вимірювання параметрів зустрічного потоку повітря. В цю групу входять барометричний висотомір, показчики приладової та істинної повітряної швидкості, числа M та варіометри.

Всі ці прилади побудовані за методами непрямих вимірювань, суть яких полягає в тому, що на основі первісної інформації про статичний і повний тиск та температуру зустрічного потоку повітря обчислюються величини висотних та швидкісних параметрів, що характеризують пілотажно-навігаційний режим польоту.

В більш складних випадках, при побудові навігаційних систем, датчики первісної інформації або вимірювальні перетворювачі тиску видають електричні сигнали, які поступають до обчислювача, що вирішує рівняння методу вимірювання.

В авіаційному приладобудуванні найбільшого розповсюдження отримали методи вимірювання, основані на порівнянні сил тиску з пружними силами, які створюються плоскими або гофрованими мембранами, манометричними та

анероїдними коробками, сильфонами, манометричними трубками або циліндрами.

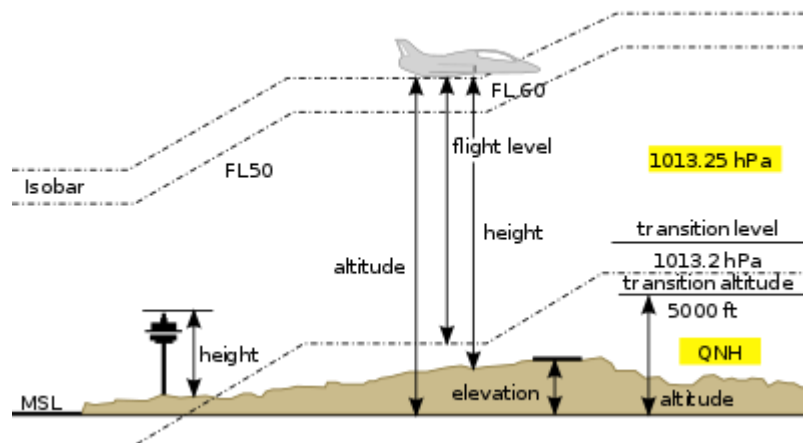


Рисунок 1.1 - Висоти польоту ЛА

На рис. 1.1: altitude - барометрична висота, height - істинна висота, elevation - висота найвищої точки аеродрому або використовуваного порогу злітно-посадкової смуги (ЗПС) над рівнем моря, flight level - рівень (ешелон) польоту, MSL (mean sea level) - середній рівень моря.

Принцип вимірювання барометричної висоти польоту ЛА заснований на вимірюванні тиску атмосферного повітря, що змінюється з висотою. Відомо, що зі збільшенням висоти поточний атмосферний тиск зменшується. Даний принцип покладено в основу засобу вимірювання – барометричного висотоміра (альтиметра), який насправді вимірює не висоту, а тиск повітря.

Ешелон (flight level) - це умовна висота, розрахована при стандартному тиску і віддалена від інших висот на величину встановлених інтервалів. Основне поняття в вертикального ешелонування. При метричному ешелонування ешелон висловлюють у встановленій висоті в метрах, наприклад, ешелон 10600, при футовому - в сотнях футів, наприклад, FL350 (35000 футів).

Висота ешелону зовсім необов'язково збігається з реальною висотою повітряного судна. Висотоміри в літаках - по суті, калібровані барометри, тобто висоту вони обчислюють за різницею тиску на землі і в повітрі. Для обчислення висоти польоту ЛА треба було б постійно вносити в прилади дані про атмосферний тиск в кожній точці маршруту, враховувати висоту цих точок над

рівнем моря. Для усунення цього явища в авіації прийнято користуватися стандартним тиском (стандартною атмосферою). Якщо на всіх повітряних судах буде встановлено однакове значення тиску на альтиметрі, то показання висоти на приладі в заданій точці повітряного простору будуть однаковими. Тому з певного моменту при наборі висоти (**висота переходу**) і до певного моменту при зниженні (**ешелон переходу**) висота повітряного судна розраховується за стандартним тиском.

Барометричні висотоміри калібруються (таруються) при $P_0 = 760$ мм рт. ст. і $T_0 = 288,15$ К (15°C). Значення стандартного тиску (QNE) $P_0 = 760$ мм рт. ст. (1013,2 гектопаскаля, 29,921 дюйма рт. ст.) - однакове у всьому світі.

2.2. Частотні датчики тиску для вимірювання висотно-швидкісних параметрів ЛА

Виготовленням вібраційно-частотних датчиків тиску повітря з циліндричним резонатором за схемою на рис. 1.2 із шістдесятих років займається англійська фірма Солатрон (Solatron). Зараз вона випускає серію таких датчиків для систем повітряних сигналів (СПС) цивільних і військових літаків для вимірювання барометричного (статичного) і повного тиску.

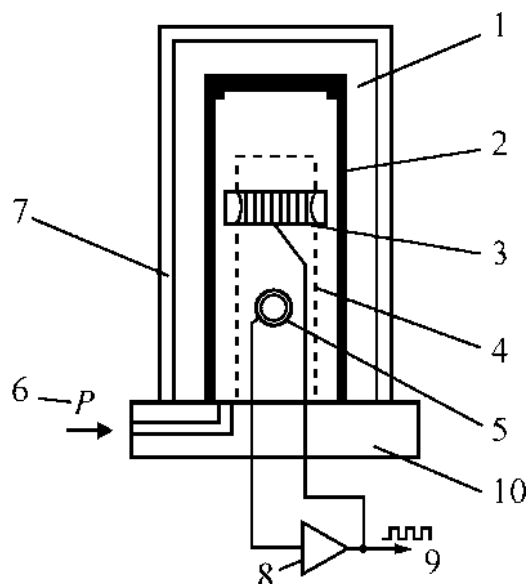


Рисунок 1.2 – Функціональна схема частотного датчика абсолютного тиску із циліндричним резонатором:

1 – опорний вакуум; 2 – циліндр; 3 – котушка збурення; 4 – елементи системи самозбурення; 5 – котушка реєстрації сигналу; 6 – тиск; 7 – корпус;
8 – підсилювач; 9 – вихід; 10 – основа

Базовий датчик цієї фірми типу NT 3082 (літак Торнадо) має наступні характеристики:

- похибка: $\pm 0,01$ % від тиску;
- діапазон тисків (P_d): від 0 до 2600 мм рт. ст.;
- гістерезис: 0,001 - 0,005 % від діапазону;
- вихідний сигнал: цифровий код;
- напруга живлення: ± 28 В;
- споживана потужність: 1 Вт;
- маса: 0,24 кг;
- габаритні розміри: 62,8 мм (довжина), 24,5 мм (діаметр).

Принцип дії датчика заснований на залежності власної частоти пружного елемента від величини його внутрішньої механічної напруги, викликаній дією вимірюваного тиску (відносно вакуумованої внутрішньої порожнини 1). Резонатор 2, розташований усередині герметичного циліндричного корпусу 7, виконаний з магнітом'якого матеріалу. Циліндр з корпусом закріплені на загальній основі 10. В середині циліндра розміщений стрижень з електромагнітними котушками збурення 3 і реєстрації 5 коливань, через які циліндр включений в контур автогенератора, як частото задавальний елемент.

Такий датчик забезпечує вимірювання статичного тиску $P_{ст}$. Вимірюваний тиск подається у внутрішню порожнину резонатора. У вібраційно-частотних датчиках тиску використовується система самозбудження неперервної генерації частот (автоколивання). Для цього використовуються індуктивні (наприклад, датчик ДДГ Улянівського приладобудівного заводу, Росія) і ємнісні (наприклад, ДВБЧУ Московського конструкторського бюро «Восход», Росія) перетворювачі переміщення в електричний сигнал.

3. Опис лабораторного устаткування і методики вимірювань

3.1. Опис вимірювача частоти ЧЗ-54

Одним із призначень вимірювача частоти - частотоміру типу ЧЗ-54 є вимірювання частоти та періоду послідовних імпульсів електричного струму.

3.1.1. Принцип дії

Робота, приладу заснована на лічильно-імпульсному принципі, що полягає в тому, що рахунковий блок рахує кількість поступаючих на його вхід імпульсів протягом певного інтервалу часу. При вимірюванні частоти рахунковий блок рахує кількість імпульсів, сформованих з вхідного (вимірюваного) сигналу, за час тривалості стробоімпульса. Тривалість імпульсу (час рахунку) у цьому режимі задається опорною частотою. При вимірюванні інтервалу часу чи періоду рахунковий блок рахує кількість імпульсів опорної частоти (частоти заповнення чи міток часу) за час тривалості стробоімпульса. Тривалість стробоімпульса при цьому дорівнює вимірюваному інтервалу або періоду.

3.1.2. Вимірювання частоти

Вимірювання частоти проводиться на ВХОДі А. Вимірюваний сигнал із ВХОДУ А через атенюатор, підсилювач-формував А і Сп 1 надходить на селектор. На другий вхід селектора надходить стробоімпульс з блоку автоматики. За час, що дорівнює тривалості стробімпульса, певна кількість сформованих із вимірюваного сигналу імпульсів поступає на вхід лічильного блоку приладу. Лічильний блок складається з восьми послідовно з'єднаних перерахункових декад, найбільша частота з яких визначає верхню межу частотного діапазону приладу. Лічильний блок розраховує кількість імпульсів, що поступили на вхід лічильного блоку, а результат рахунку відображається на цифровому табло приладу.

Сигнали часу рахунку, що задають час стробоімпульсу, формуються наступним чином. Сигнал частотою 5 МГц з кварцового генератора або зовнішнього джерела опорної частоти через підсилювач-формував 5 МГц і помножувач частоти 5-10 МГц поступає на дільник частоти 10-1 МГц, потім сигнал частотою МГц, ділиться трьома декадними дільниками. З виходу

останнього сигнал частотою 1 кГц через Сп 11 надходить на ланцюжок з чотирьох послідовно з'єднаних декадних дільників. Залежно від необхідного часу рахунку, встановлюваного перемикачем ВРЕМЯ СЧЕТА, відкрита одна із схем Сп 14 (час рахунку 1 мс), Сп 15 (10 мс), Сп 16 (10^2 мс), Сп 17 (10^2 мс), Сп 18 (10^4 мс) і сигнал часу рахунку через Сп 13 надходить на запуск блоку автоматики. Останній формує стробоімпульс, тривалість якого дорівнює заданому часу рахунку.

3.1.3. Вимірювання періоду

Вимірювання періоду проводиться на ВХОДі Б. Вимірюваний сигнал із ВХОДУ Б через атенюатор, підсилювач-формувавч Б та схему Сп 10 надходить на чотирьохдекадний дільник частоти. Залежно від коефіцієнта усереднення вимірюваного періоду n (що дорівнює коефіцієнту поділу частоти вимірюваного сигналу), встановлюваного перемикачем МНОЖИТЕЛЬ, відкривається одна зі схем Сп 14 ($n = 1$), Сп 15 ($n = 10$), Сп 16 ($n = 10^2$), Сп 17 ($n = 10^3$), Сп 18 ($n = 10^4$) та вимірюваний сигнал, поділений по частоті в n разів, через Сп 13 надходить на запуск блоку автоматики. Останній виробляє стробоімпульс, що дорівнює за тривалістю одиничному ($n = 1$) або опосередкованому періоду, що вимірюється. Необхідні мітки часу (частоти заповнення), установлювані за допомогою перемикача МЕТКИ ВРЕМЕНИ, надходять з формувача міток часу через одну із схем Сп4 (0,01 мкс), Сп5 (0,1 мкс), Сп6 (1 мкс), Сп7 (10 мкс), Сп8 (0,1 мс), Сп 9 (1 мс) і схему Сп 3 на селектор.

3.2. Опис частотного вимірювального перетворювача барометричного тиску

3.2.1. Структурна блок-схема

Частотний вимірювальний перетворювач барометричного тиску (ЧВП БТ) складається з:

- а) модуля тиску МТ;

б) електронного підсилювача-обмежувача (автогенератора);

в) погоджувального пристрою ПП.

Модуль тиску складається з:

а) чутливого елементу ЧЕ;

б) системи збудження та знімання частотного сигналу (катушки збудження та зворотного зв'язку);

в) датчика температури ДТ.

Конструкція чутливого елементу являє собою тонкостінний резонатор циліндричної форми, заварений у корпус. Між корпусом та зовнішньою стінкою резонатора – вакуум ($5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.).

При подачі усередину резонатора тиску змінюється його жорсткість, а тому і власна частота коливань.

На рис. 1.3 представлена структурна схема ЧВП БТ.

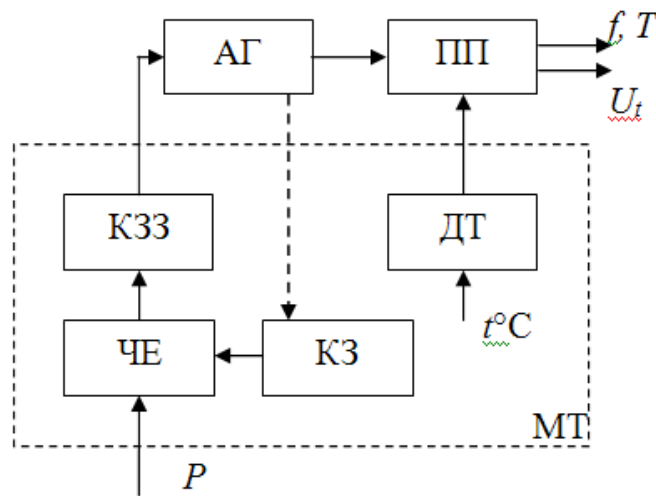


Рисунок 1.3 – Структурна схема частотного вимірювального перетворювача барометричного тиску:

АГ – автогенератор; МТ – модуль тиску; КЗЗ – катушка зворотного зв'язку; КЗ – катушка збудження; ДТ – датчик температури; ПП – погоджувальний пристрій; ЧЕ – чутливий елемент; f – вихідна частота; T – вихідний період, U_t – напруга на виході ДТ (термодіоду), t^o – температура, P – вимірюваний тиск

Коливання збуджуються і підтримуються двома електромагнітними котушками: збудження та зворотного зв'язку, включеними до схеми електронного підсилювача (автогенератора).

Схема працює у режимі автоколивань на власній (резонансній) частоті. Погоджувальний пристрій формує два сигнали: вихідний у вигляді частоти (періоду) слідування електричних імпульсів, та сигнал у вигляді напруги постійного струму U , що несе інформацію про температуру.

Вихідний сигнал за тиском датчика являє собою послідовність прямокутних імпульсів додатної полярності з амплітудою від +2,5 до +4 В, нульовий рівень сигналу не більше +0,35 В, довжина фронтів не більше 2 мкс при опорному навантаженні 16 кОм (рис. 1.4).

Робоча (вихідна) частота знаходиться в межах $4500 \div 5300$ Гц; тривалість імпульсу $\approx T/2$; передній фронт $\tau \leq 2 \mu\text{s}$; амплітуда $A = +2,5 \div 4,0$ В; нульовий рівень $h \leq +0,35$ В.

Крутизна переднього фронту: $S_{\delta} = \frac{dU}{dt}$, $1,01 \leq S_{\phi} \leq 1,6$ (В/μs).

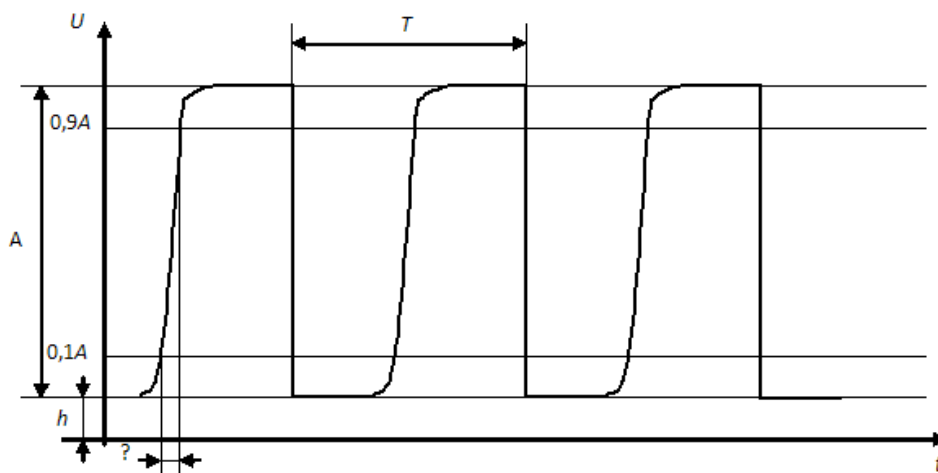


Рисунок 1.4 – Вихідний сигнал ЧВП БТ

На виході з першого каскаду (1 ніжка) можна зняти синусоїду з амплітудою $2,0 \div 3,0$ В.

Період слідування вихідних імпульсів датчика з точністю $\pm 2.5 \%$ змінюється в межах:

ДДГ-1-1 - від 213 до 186 мкс;

ДДГ-1-2 - від 218 до 186 мкс;

ДДГ-1-3 - від 213 до 170 мкс;

ДДГ-1-4 - від 218 до 156 мкс.

Вихідний сигнал за температурою являє собою напругу постійного струму додатної полярності. Опорне навантаження має бути не меншим за 5 кОм, змінюється від $0^{+0,5}_{-0,02}$ до $9^{+0,02}_{-0,5}$ відповідно до змін температури від $+80^{\circ}$ до -60°C .

Датчики працюють в діапазонах тисків, вказаних в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Діапазони виміру тиску ЧВП БТ

Шифр датчика	Діапазон вимірювання тиску, мм рт. ст.	Вид вимірюваль-ного тиску
ДДГ-1-1	Від 85 до 815	Абсолютне
ДДГ-1-2	Від 5 до 815	Абсолютне
ДДГ-1-3	Від 5 до 1400	Абсолютне
ДДГ-1-4	Від 5 до 2100	Абсолютне

Датчик нормально працює при таких напругах постійного струму: $+15 \pm 0,75\text{ В}$; $-15 \pm 0,75\text{ В}$; $+15 \pm 0,02\text{ В}$ - еталонне, при цьому струм не перевищує для ланцюгів:

$+15 \pm 0,75\text{ В}$	40 мА;
$-15 \pm 0,75\text{ В}$	30 мА;
$+15 \pm 0,02\text{ В}$	5 мА еталонне.

3.2.2. Максимальний діапазон вимірювання

Максимальний діапазон вимірювання ЧВП БТ складає:

$$P_{min} \div P_{max} = 5 \div 1400 \text{ (мм рт. ст.)}.$$

При $P_{min} = 5$ мм рт. ст. $T_{max} = 220 \text{ } \mu\text{s}$, $f_{min} = 4545 \text{ Гц}$;

при $P_{max} = 1400$ мм рт. ст. $T_{min} = 176 \text{ } \mu\text{s}$, $f_{max} = 5682 \text{ Гц}$;

при $P_{атм} = 745$ мм рт. ст. $T_{атм} = 190 \text{ } \mu\text{s}$, $f_{атм} = 5263 \text{ Гц}$.

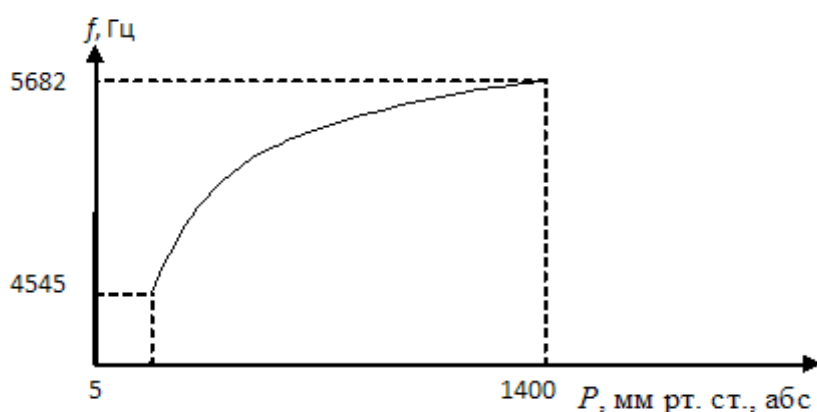
Частота як функція тиску носить яскраво виражений нелінійний характер:

$$P = b_0 + b_1 N_p + b_2 N_p^2 + b_3 N_p^3 \quad (1)$$

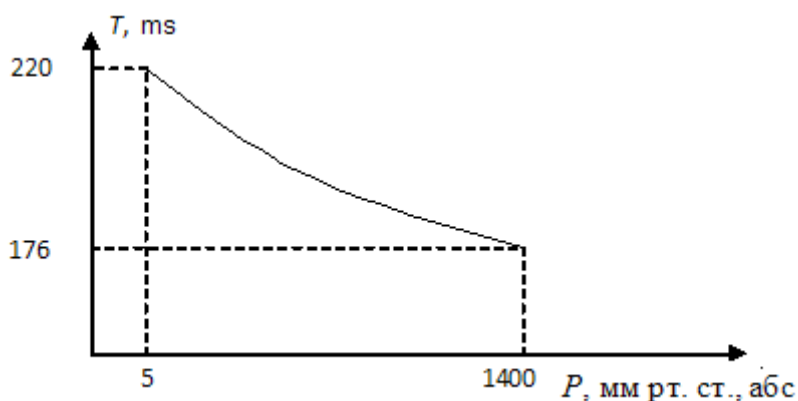
$$\begin{cases} b_0 = a_0 + a_1 N_t + a_2 N_t^2 \\ b_1 = a_3 + a_4 N_t + a_5 N_t^2 \\ b_2 = a_6 + a_7 N_t + a_8 N_t^2 \\ b_3 = a_9 + a_{10} N_t + a_{11} N_t^2 \end{cases}$$

де b_i , a_i – коефіцієнти, отримані кусково-параболічною апроксимацією, цифровий код N_t відповідає вимірам напруги термодіода, цифровий код N_p – вимірам періоду.

На рис. 1.5 показана геометрична інтерпретація цих даних.



a)



б)

Рисунок 1.5 – Графічне зображення функції перетворення ЧВП БТ, залежність від тиску: (а) – вихідної частоти: (б) – періоду вихідного сигналу

При великому перепаді тиску на поверхні циліндра змінюється його форма, це є однією з причин виникнення нелінійності.

3.2.3. Чутливість ЧВП БТ

Чутливість ЧВП БТ має нелінійний характер і визначається за формулою:

$$S = \frac{dT}{dP} = 5 \cdot 10^{-6} T^3, \text{ одиниця вимірювання чутливості } [S] = \text{нс/1 мм рт. ст.}; \text{ одиниця}$$

вимірювання періоду $[T] = \mu\text{с}$.

Чутливість у діапазоні вимірювання змінюється таким чином:

$$S_{\max} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 220^3 = 53,24 \text{ нс/мм рт. ст.};$$

$$S_{\min} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 176^3 = 27,26 \text{ нс/мм рт. ст.};$$

$$S_{\text{атм}} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 190^3 = 34,29 \text{ нс/мм рт. ст.};$$

$$S_{\text{сер}} = 40,25 \text{ нс/мм рт. ст.};$$

$$S_{\text{не}\delta f} = \frac{(5682 - 4545)}{(1400 - 5)} = 0,815 \text{ Гц/мм рт. ст.};$$

$$S_{\text{не}\delta \dot{O}} = \frac{(-220 + 176)}{(1400 - 5)} = -0,03154 \text{ мс/мм рт.ст.} = -31,54 \text{ нс/мм рт. ст.}$$

Поріг чутливості:

$$П_{\text{чув по } T} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ с};$$

$$П_{\text{чув по } P} = П_{\text{чув по } T} / S_T;$$

$$(П_{\text{чув по } P})_{\max} = П_{\text{чув по } T} / S_{T\min} = 5,6 \cdot 10^{-11} \text{ Нг} = 7,4 \cdot 10^{-9} \text{ Па};$$

$$(П_{\text{чув по } P})_{\min} = П_{\text{чув по } T} / S_{T\max} = 1,45 \cdot 10^{-11} \text{ Нг} = 1,9 \cdot 10^{-9} \text{ Па}.$$

3.2.4. Похибка вимірювання періоду ЧВП БТ

Абсолютна похибка вимірювання вихідного періоду $\Delta_T = 10^{-9} \text{ с}$.

Тоді відносна похибка вимірювання періоду, приведена:

а) до верхнього значення:

$$\delta_{T_{\min}} = \frac{\Delta_T}{T_{\max}} = \frac{10^{-9}}{220 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\% = 4,5 \cdot 10^{-4} \% ;$$

б) до нижнього значення діапазону зміни вихідного періоду:

$$\delta_{T_{\max}} = \frac{\Delta_T}{T_{\min}} = \frac{10^{-9}}{150 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\% = 6,7 \cdot 10^{-4} \% .$$

Визначення абсолютної похибки вимірювання тиску. За паспортом датчика типу ДДГ-1-3: $\Delta = 0,42$ мм рт. ст.; $P_{\max} = 1400$ мм рт. ст.; $\delta = 0,03 \div 0,025$ %, де δ – похибка, приведена до максимального значення P . Якщо розглядати δ як відносну похибку, де P – поточний вимір тиску, маємо

$$P = 5 \text{ Hg};$$

$$\delta = \frac{\Delta}{P} \cdot 100 \%;$$

$$\Delta = \frac{\delta \cdot P_{\max}}{100} = \frac{5 \cdot 0,03}{100} = 0,0015 \text{ Hg};$$

$$P = 1400 \text{ Hg};$$

$$\Delta = \frac{\delta \cdot P_{\max}}{100} = \frac{1400 \cdot 0,03}{100} = 0,42 \text{ Hg};$$

$$\Delta = 0,0015 \div 0,42 \text{ Hg},$$

при діапазоні $5 \div 1400 \text{ Hg}$.

Похибка датчика, віднесена до максимального тиску P_{\max} діапазону вимірювання не перевищує значень, вказаних в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Залежність приведеної похибки від температури

Від – 60 °C до – 30 °C	Понад – 30 °C до 0 °C	Понад 0 °C до +10 °C	Понад +10 °C до +50 °C	Понад +50 °C до +60 °C	Понад +60 °C до +80 °C
± 0,055 %	± 0,045 %	± 0,035 %	± 0,03 %	± 0,035 %	± 0,045 %

Додаткова похибка при прискоренні 10 g не перевищує $0,02\text{--}0,03$ %. Датчик працює в умовах підвищеної вологості до 98 % при $t = 40$ °C. Витримує до $10\,000$ циклів змін вимірювального тиску (для літака).

3.2.5. Оцінка впливу ΔT на Δf

ΔT – це різниця періодів при двох вимірах, дуже мале число; Δf відповідає різниці частоти при тих же самих двох вимірах.

Нехай $\Delta T = T_1 - T_2 = 0,1 \cdot 10^{-9}$ с;

При: $T_2 = 220 \mu\text{s}$; $T_1 = 220,0001 \mu\text{s}$

$$\Delta f = \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} = 0,0021 \text{ Гц}.$$

При: $T_2 = 156 \mu\text{s}$; $T_1 = 156,0001 \mu\text{s}$;

$$\Delta f = \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} = 0,0041 \text{ Гц}.$$

3.2.6. Надійність

Вимоги до надійності [4]:

Середній наробіток до відмови ЧВП БТ $T_{\text{ср}}$ має бути не менше 1200 годин, а необхідна ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t = 10 \text{ год}) = 0,99; P(t = 30 \text{ год}) = 0,96.$$

У ході контрольних випробувань отримано:

$T_{\text{ср}} = 86430$ год, $P(t = 1 \text{ год}) = 0,99998$; $P(t = 10 \text{ год}) = 0,99988$; $P(t = 30 \text{ год}) = 0,99965$.

До ТЗ введено $T_{\text{ср}} = 50000$ год.

Датчик вібростійкий до вібрації в трьох взаємно перпендикулярних осях в діапазоні частот від 10 до 2000 Гц (ДДГ-1-1, ДДГ-1-3), від 10 до 300 Гц (ДДГ-1-2, ДДГ-1-4) з прискоренням по 5 g і амплітудою до 1 мм.

Час готовності датчика до роботи не більше 2 хвилин.

Напруга шумів радіоприйому, створюваних датчиком у ланцюгах живлення при його роботі не перевищує величин, вказаних у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Максимальні значення шумів радіоприйому

Частота, МГц	0,15	0,5	1,0	4,0	6,0÷150,0
Допустимий рівень завад радіо-прийому, мкВ	100	60	45	25	20

Максимальна швидкість подачі чи відкачки тиску при градуюванні датчика не має перевищувати 100 мм рт. ст./с.

Тоді час відкачки від $P_{\text{атм}}$ до P_{min} складає $(745-5)/100 = 7,4$ с.

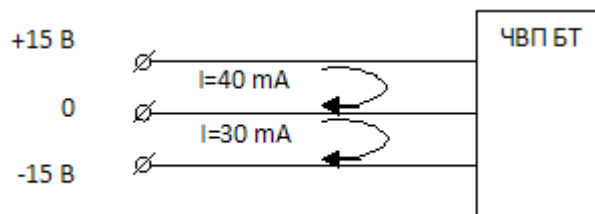
$$V_{\text{max}T} = \frac{220-190}{7,4} = 4,054 \frac{\mu\text{s}}{\text{s}};$$

$$V_{\text{max}f} = \frac{5263-4545}{7,4} = 97,03 \frac{\text{Гц}}{\text{s}}.$$

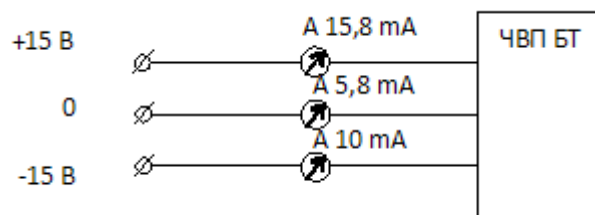
При швидкості зміни тиску 100 мм рт. ст./с для похибки запізнення, що дорівнює 0,1 мм рт. ст. (3 нс) ÷ 0,03 мм рт. ст. (1 нс), необхідний час видачі імпульсу знаходиться в діапазоні $1 \div 0,25 \mu\text{s}$. При швидкості зміни 1 мм рт. ст./с – $100 \div 25 \mu\text{s}$.

3.2.7. Витрати потужності та струми у колі ЧВП БТ

Споживча потужність ЧВП БТ: $P = UI = 15 \cdot 10^{-3}(0,4 + 0,3) = 0,0105$.



а)



б)

Рисунок 1.6: (а) - струм у колі при роботі ЧВП БТ:
(б) – споживна потужність за описом (максимальний струм у колах)

3.2.8. Добротність

Добротність знаходиться за формулою $Q = \frac{f}{f' - f''}$, де

f – резонансна частота; f' , f'' знаходяться за спеціальною схемою при повірці ЧВП БТ. Важливою є добротність на першій резонансній частоті.

Для резонатора: $Q \geq 1800$, резонансна частота 4460 ± 40 Гц.
 Δf – різниця між значеннями двох резонансних частот, $\Delta f_{\text{резонатора}} = 8 \pm 3$ Гц.

Для чутливого елемента: $Q \geq 3700$, резонансна напруга $U_{\text{рез}} > 25$ мВ;
 $f = 5310 \pm 45$ Гц. При $P_{\text{атм}} = 760$ мм рт. ст.; $\Delta f = 8 \pm 3$ Гц.

3.2.11. Градування

Перед градуванням ЧВП БТ усю систему витримують 2 години. Значення вихідного сигналу ЧВП БТ заносяться в табл. 1.4, де P – значення вхідного абсолютного тиску, t – температура, що встановлюється в термокамері, в якій розміщується ЧВП БТ.

Точність вимірювання температури термодіодом: $\pm 0,5$ °С (внаслідок температурного дрейфу операційного підсилювача), також $\pm 0,5$ °С внаслідок нестабільності самого термодіоду. Разом $\Delta_t = \pm 1$ °С.

При градуванні на кожній точці (t витримується 2 години) записується у таблицю середнє значення трьох вимірювань: прямого $T_{\text{пр1}}$, зворотного $T_{\text{зв}}$, та прямого ходів $T_{\text{пр2}}$:

$$T = \frac{T_{\text{пр1}} + T_{\text{зв}} + T_{\text{пр2}}}{3}.$$

Напруга (за температурою) вимірюється 6 разів і середнє значення заноситься у таблицю градування.

Таблиця 1.4

Таблиця градування

$t, ^\circ\text{C}$ $P, \text{ мм рт. ст.}$	-60	-50	-40	...	+70	+80
5						
10						
20						
...						
1400						
$U, \text{ В}$						

Датчик має градуювальні таблиці з точками (температури та тиску), за якими виконується градуювання (див. табл. 1.4).

Оскільки матеріал резонатора адсорбує повітря та сам виділяє газу, то необхідно перед початком градуювання на 1 год (і більше) підключити вакуумний насос і провести максимальну відкачку повітря до мінімального значення.

Необхідне обладнання та контрольно-повірочна апаратура при градуюванні ЧВП БТ.

1. Джерело постійного струму напругою до 20 В (2 шт.).
2. Пульт для перевірки датчиків (1 шт.).
3. Імпульсна (намагнічувальна) установка або пермеаметр (1 шт.).
4. Балістичний гальванометр.
5. Ламповий вольтметр з межами 3 мВ ÷ 30 В (2 шт.).
6. Цифровий вольтметр з межами 1 В, 10 В, 100 В з похибкою не гірше 10^{-4} (1 шт.).
7. Електронний частотомір-хронометр з межами вимірювання періоду від 50 до 500 мкс та частотами від 2000 до 20000 Гц з похибкою не більше 10^{-6} .
8. Генератор звуковий до 10 кГц, точність 2 % (1 шт.).

9. Осцилограф з калібруванням за напругою та тривалістю, що працює у діапазоні частот від 0 до 5 МГц (1 шт.).
10. Осцилограф із входами „х” та „у” (1 шт.).
11. Ампервольтметр (1 шт.).
12. Магазин опорів з межами до 100 кОм (3 шт.).
13. Задатчик температури для перевірки термодіодів - термостат разом із терморегулятором.

Для еталонного (контрольного) перетворювача використовують ДДГ-1, витриманий за часом проходження технічного приробітку не менше 4 місяців, термостатований у діапазоні $+40 \div 45^\circ\text{C}$ зі стабільністю підтримки температури $\pm 0,2^\circ\text{C}$, періодичність градуювання не рідше 1 разу на місяць, різниця між послідовними градуюваннями не має перевищувати 4 нс.

Схема градуювання ЧВП БТ представлена на рис. 1.7.

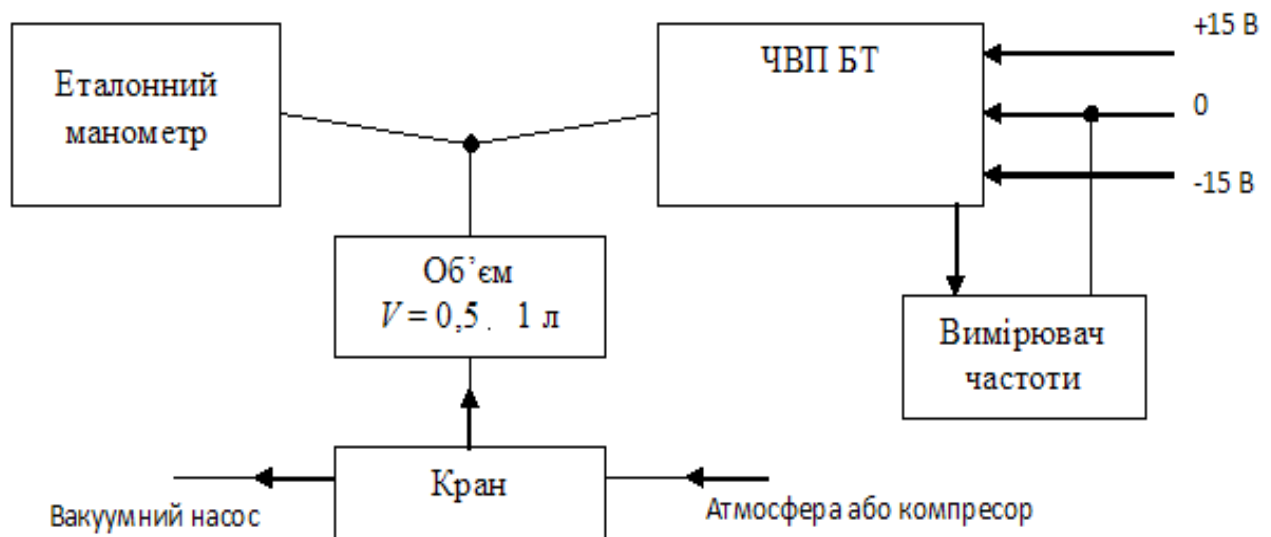


Рисунок 1.7 - Схема градуювання

На рис. 1.8 представлена схема перевірки датчика на нелінійність, на рис. 1.9 – схема температурних випробувань.

При перевірці ЧВП БТ за температурою використовується радіатор – металева трубка, внутрішній діаметр якої 3-10 мм, розміщується у термокамері.

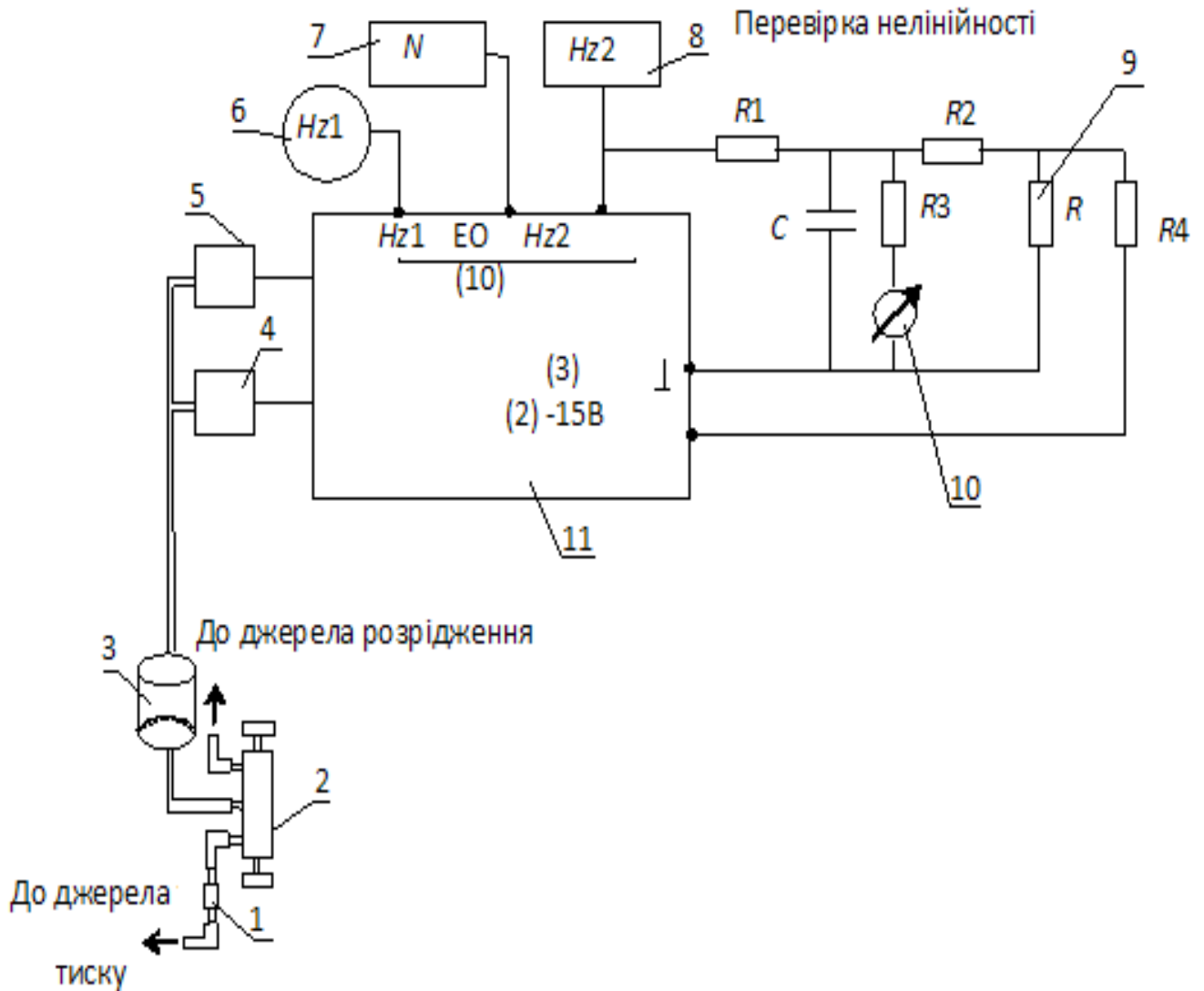


Рисунок 1.8 – Схема перевірки ЧВП БТ в заводських умовах у діапазоні вимірювального тиску:

1 – фільтр; 2 – кран; 3 – герметичний бачок (0,5 - 1 л); 4 – датчик, що градується; 5 – контрольний датчик; 6,8 – частотоміри; 7 – осцилограф; 9 – магазин опорів Р33; 10 – гальванометр М195/2; 11 – пульт

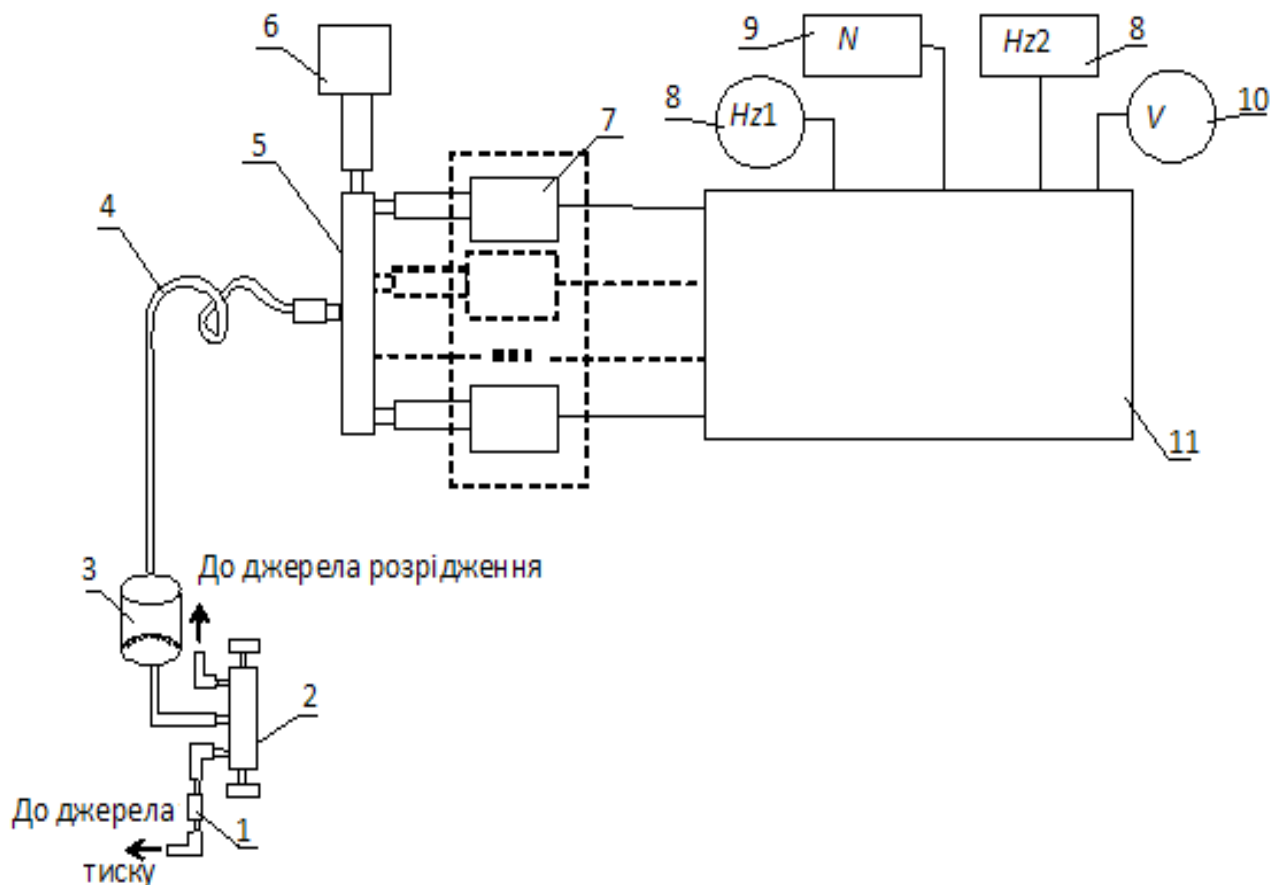


Рисунок 1.9 – Схема перевірки ЧВП БТ в заводських умовах за температурою:
 1 – фільтр; 2 – кран; 3 – герметичний бачок (0,5 - 1 л); 4 – радіатор;
 5 – колектор; 6 – манометр абсолютного тиску; 7 – датчики що перевіряються;
 8 – частотоміри; 9 – осцилограф; 10 – цифровий вольтметр; 11 – пульт

4. Підготовка до виконання роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи кожен студент самостійно повинен виконати наступне:

- підготувати протокол виконання лабораторної роботи відповідно до вимог п. 6.;

— вивчити конструкцію та принцип дії ЧВП БТ, схему з'єднання та правила користування джерелом живлення та частотоміром.

5. Порядок виконання роботи

Лабораторну роботу кожен студент повинен виконати індивідуально в наступній послідовності:

5.1. Одержати допуск до виконання роботи, відповівши на питання викладача.

5.2. Зібрати схему (рис. 1.10, 1.11).

5.3. Підключити живлення.

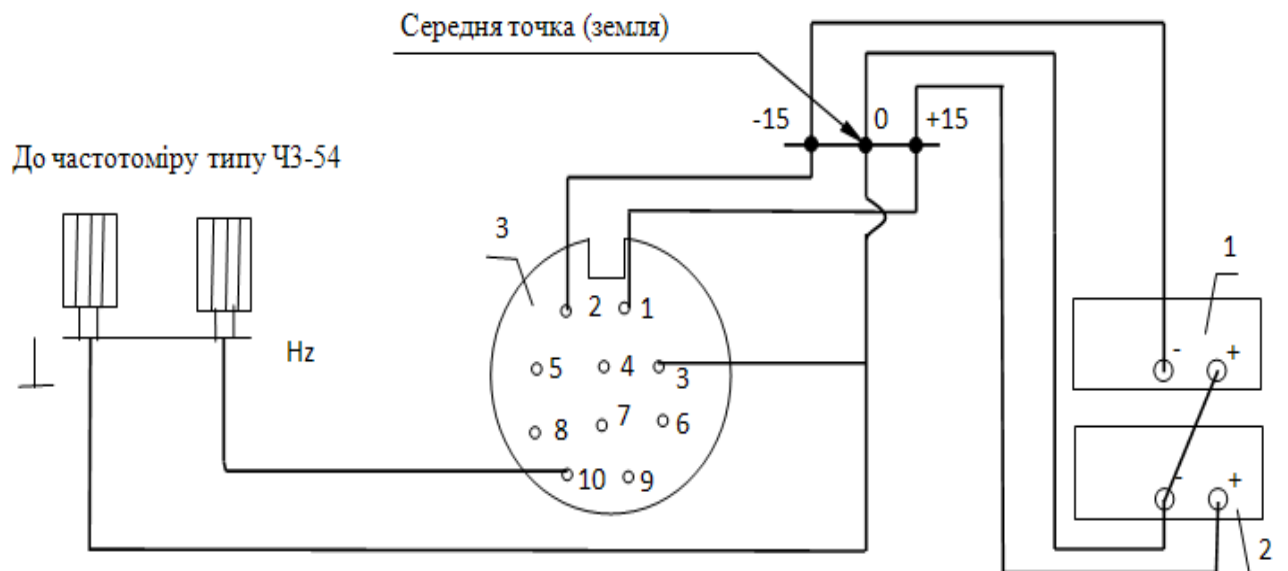


Рисунок 1.10 – Схема електрична підключення ЧВП БТ

5.3.1. На частотомірі

Встановити планку СЕТЬ згідно частоти та напруги живильної мережі; при цьому грань планки з відповідним написом повинна бути паралельна площині задньої панелі.

Перевірте величину напруги живильної мережі. При живленні приладу від мережі 50 Гц 220 В, в якій можливі різкі скачки та коливання напруги понад

10 %, необхідно включати прилад в мережу через ферорезонансні стабілізатори типу ФСП-200.

Для включення живлення приладу: встановіть тумблер СЕТЬ в нижнє положення; заземліть прилад за допомогою затиску захисного заземлення; приєднайте до приладу мережевий шнур живлення; включіть шнур живлення в мережу (з цього моменту включається живлення кварцового генератора, засвічується лампочка КВАРЦ. ГЕНЕР.); включіть тумблер СЕТЬ.

Прилад забезпечує свої технічні характеристики після часу встановлення робочого режиму, 2 год. Час прогріву приладу без гарантованої похибки – не більше 1 хв.

Для підготовки приладу до проведення вимірювань зробіть наступні операції: при роботі з внутрішнім кварцовим генератором тумблер ВНЕШН. ВНУТР. (На задній панелі) встановіть в положення ВНУТР.; для проведення вимірювань при роботі з внутрішнім кварцовим генератором прогрійте його, виходячи з необхідної точності вимірювань (прогрів кварцового генератора може проводитися без включення приладу, оскільки живлення кварцового генератора подається з моменту підключення шнура живлення до мережі при вимкненому тумблері МЕРЕЖА).

5.3.2. Джерело живлення

Встановіть на обох джерелах напругу 15,0 В, силу струму 0,02 А. Уважно перевірте полярність підключення ЧВП БТ. Підключіть джерело живлення до мережі. Увімкніть перемикачі СЕТЬ.

5.3.3. Вольтметр

Встановіть межу виміру напруги 20 В та натисніть кнопку вимірювання по постійному струму. Встановіть перемикач СЕТЬ у праве положення.

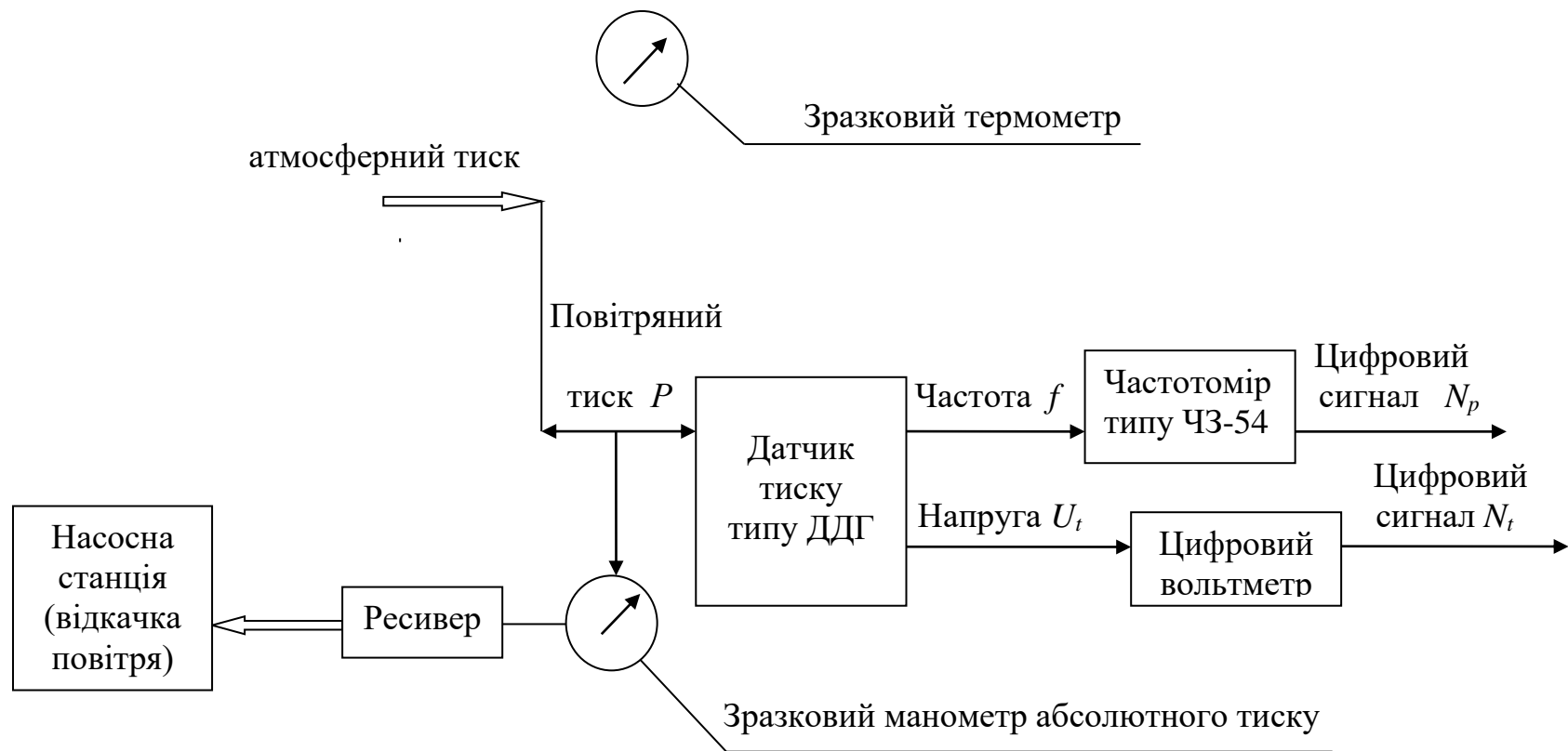


Рисунок 1.11 – Схема випробувань частотного вимірювального перетворювача барометричного (повітряного) тиску

5.4. Проведення вимірювань частоти

5.4.1. На частотомірі увімкніть кнопку ПАМ'ЯТЬ, вимкніть кнопку ПАУЗА (позначена знаком долоні). Тумблер ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ найкраще повернути проти годинникової стрілки для більш частого відновлення індикації.

Перемикач РОД РАБОТЫ встановіть в положення ЧАСТОТА А.

Перемикач ВРЕМЯ СЧЕТА – МНОЖИТЕЛЬ встановіть в положення залежно від необхідної точності вимірювання (10^{-3}).

Ручку ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ встановіть у зручне для відліку положення (0,01 мкс).

Кнопку УРОВЕНЬ АВТ. встановіть у віджате положення.

Ручку УРОВЕНЬ А встановіть в положення відповідне формі та полярності вхідного сигналу. При імпульсному сигналі негативної або позитивної полярності ручка повертається від середнього положення відповідно вліво чи вправо. Наявність ручки УРОВЕНЬ А і можливість зміни нею рівня запуску дозволяє робити вимірювання сигналів складною (практично будь-якої) форми. При вимірі обертанням ручки УРОВЕНЬ А визначається зона, в якій спостерігається найбільш стійкий відлік приладу. Ручка УРОВЕНЬ А повинна бути встановлена в положення, яке відповідає середині цієї зони, і при цьому виробляється відлік показань. Не допускається встановлювати ручку УРОВЕНЬ А за межами широкої зони стійкого рахунку.

Відіжміть кнопки 50 Ом, 5 МГц, зв'язок по постійному струму, та 10 V.

З'єднайте кабелем джерело вимірюваного сигналу з роз'ємом ВХОД А. Якщо кабелю немає, то під'єднайте землю (3 ніжка) на зовнішній корпус входу А, а частотний вихід (10 ніжка) до середнього контакту виходу.

5.4.2. Натисніть кнопку СБРОС. Проведіть відлік результату вимірювання. Занесіть результат вимірювання до табл. 1.5.

Таблиця 1.5

**Дослідження вихідних характеристик вимірювального перетворювача
барометричного тиску**

Дата, № п/п	Тиск		Температура, °C	Напруга термодіоду, U_t , В	T , μs	f , кГц
	мм рт.ст.	гПа				

5.5. Проведення вимірювань періоду

5.5.1. Перемикач РОД РАБОТЫ встановіть в положення ПЕРИОД Б.

Перемикачі ВРЕМЯ СЧЕТА-МНОЖИТЕЛЬ (10^{-3}) і МЕТКИ ВРЕМЕНИ (0,01 мкс) встановіть залежно від вимог до точності вимірювань і тривалості вимірюваного періоду.

З'єднайте кабелем джерело вимірюваного сигналу з роз'ємом ВХОД Б. Якщо кабелю немає, то під'єднайте землю (3 ніжка) на зовнішній корпус входу А, а температурний вихід (6 ніжка) до середнього контакту виходу.

Відіжміть кнопку « 1 V / 10 V » та кнопку зв'язку по постійному струму « \approx / = » і обертанням ручки УРОВЕНЬ В встановіть такий рівень запуску, при яких спостерігається стійкий обрахунок показників приладу.

5.5.2. Натисніть кнопку СБРОС. Проведіть відлік результату вимірювання. Занесіть результат вимірювання до табл. 1.5. Вимкніть прилад.

5.6. Проведення вимірювань напруги:

5.6.1. Під'єднайте землю ЧВП БТ до землі вольтметра (чорний вхід), а температурний вихід (6 ніжка) до відповідного входу вольтметра (за вимірюваним діапазоном та типом напруги).

Зніміть показання.

Занесіть результат вимірювання до табл. 1.5.

5.7. Вимкніть частотомір, вольтметр та джерела живлення.

6. Зміст звіту

У звіті з лабораторної роботи повинні бути представлені наступні матеріали.

- 1). Основні теоретичні відомості за тематикою лабораторної роботи.
- 2). Основні математичні формули, за якими проводилася обробка результатів вимірювань.
- 3) Графік градувальної характеристики.
- 2). Висновки про проведені дослідження.

7. Контрольні запитання

1. Які види тиску розрізняють в техніці?
2. Які види висоти польоту літака відомі, за якими причинами їх розрізняють?
3. Які вимірювачі входять в аерометричні засоби вимірювання?
4. Який принцип роботи частотного вимірювача барометричного тиску?
5. Які переваги і недоліки у частотного методу вимірювання?
6. Який порядок градування частотного датчика тиску?

7. Які похибки притаманні барометричному методу вимірювання висоти польоту літака?
8. Що таке ешелон? Чим він відрізняється від барометричної висоти?
9. Поясніть, які умови виникнення автоколивань?
10. Чому вимірюється період, а не частота вихідного сигналу ЧВП БТ?

9. Список рекомендованої літератури

1. Браславский Д. А., Логунов С. С., Пельпор Д. С. Авиационные приборы и автоматы: Учебник для авиационных ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1978, – 432 с.
2. Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы / Под ред. В. Г. Воробьева. – М.: Транспорт, 1992. – 399 с.
3. Авиационные приборы и навигационные системы / Под. ред. Лебедева В. Н. – М.: ВВИАУ им. Н. Е. Жуковского, 1981. – 640 с.
4. Нечипоренко О. М. Основи надійності літальних апаратів. Навчальний посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 240 с. – Бібліогр.: 235-238. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-360-2.
5. Самолетные навигационные системы. Перевод с англ. Сборник материалов. Под. редакцией Поляка В. Ю. – М.: Ордена Трудового Красного Знамени Военное издательство Министерства обороны СССР, 1973. – 462 с.

II. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ І КОНСТРУКЦІЙ МАГНІТОМЕТРІВ ТА МАГНІТОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

1. Мета роботи

1.2. Вивчення схем і конструкцій магнітометрів і магнітометричних систем безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та експериментальне дослідження його працездатності і аналіз показників надійності.

2. Стислі теоретичні відомості

2.1. Принцип роботи, схеми і характеристики магнітометрів

Магнітометри - прилади для вимірювання модуля повного вектору магнітної індукції або його складових та приростів. Поряд з терміном "магнітометри" часто використовують терміни "тесламетр" і "гаусметр" (по найменуванню одиниці вимірюваної величини), а також термін "вимірювач магнітної індукції".

Магнітометром є пристрій для вимірювання інтенсивності одної або декількох складових магнітного поля. В основі конструкції інтегрального магнітометра лежить анізотропний магніторезистивний ефект. Чутливий елемент виготовляється із пермалоєвої плівки, здатної змінювати свій опір у залежності від напрямку струму, що протікає через неї, і напрямку вектору її намагніченості. У свою чергу, вектор намагніченості плівки визначається напрямом силових ліній магнітного поля, в якому знаходиться чутливий елемент (рис. 2.1).

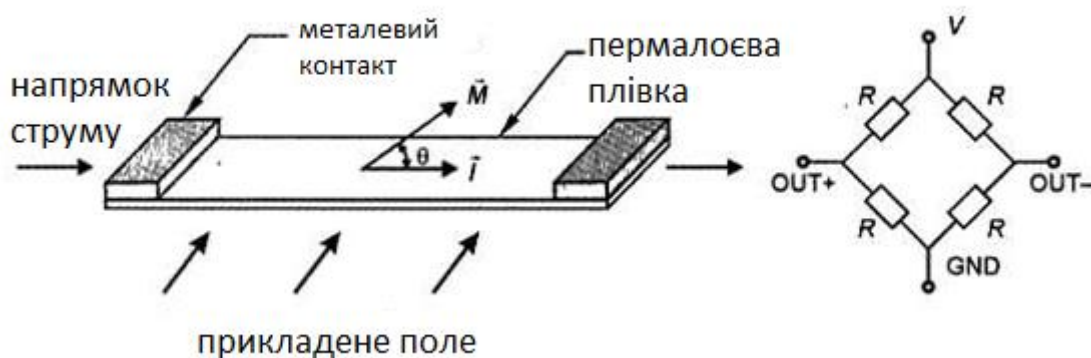


Рис. 2.1. Функціональна схема роботи магнітометра

2.2. Інтегральна схема 3-х осьового цифрового компаса HMC5883L

В роботі проводяться дослідження магнітометричної системи на базі цифрового трьохосьового магнітометра (компаса) типу HMC5883 (рис. 2.2) фірми *Bosch*.

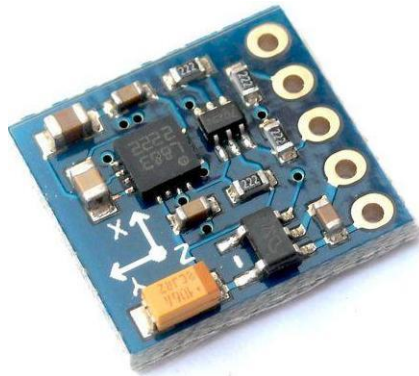


Рис. 2.2. Трьохосьовий цифровий магнітометр (компас) HMC5883

Honeywell HMC5883L - це багаточіповий модуль з цифровим інтерфейсом для поверхневого монтажу, створений для вимірювання слабких магнітних полів для таких пристроїв, як бюджетний компас і магнітометр. HMC5883L включає в себе найсучасніші магніторезистивні датчики серії HMC118X з високою роздільною здатністю та спеціальні інтегральні схеми (ASIC), що містять підсилювач, шини вхідного сигналу, що автоматично розмагнічуються, компенсатор зміщення і 12-бітний АЦП, що забезпечує точність компаса від 1 до 2 °.

Шина інтегральної схеми сприяє кращому зв'язку. HMC5883L - це 16-ти піновий бездротовий чіп-носіє (LCC) з габаритними розмірами 3,0x3,0x0,9 мм. HMC5883L використовується у системах автоматичної навігації, мобільних телефонах, нетбуках, користувацькій електроніці, та персональних навігаційних пристроях.

HMC5883L використовує анізотропну магніторезистивну технологію Honeywell (AMR - Anisotropic Magnetoresistive), яка забезпечує переваги над іншими технологіями магнітних датчиків. Ці анізотропні датчики призначені характеризувати точність в осях чутливості та лінійності. Твердотільні датчики з дуже низькою чутливістю в зоні перетину осей, призначені для вимірювання як напрямку, так і величини магнітних полів Землі від мГс до 8 Гс. Магнітні датчики

Honeywell є одними з найбільш чутливих та надійних низькочастотних датчиків у промисловості.

Характеристики магнітометра HMC5883: діапазон вимірювань: 1,3 - 8 гаус; точність: 5 мілігаус; від 1 до 2 °; напруга живлення: 2, - 3,6 В; розміри: 14 x 13 x 5 мм; вага: 2 г; компас зібраний на мікросхемі: HMC5883L; з'єднання із контролером: інтерфейс ІС.

Основне використання пристрою. Магніторезистивна схема Honeywell HMC5883L - це тріада датчиків і спеціальних схем для вимірювання магнітних полів. При застосуванні джерела живлення датчик перетворює будь-яке падаюче магнітне поле в напрямках чутливої осі на диференціальну вихідну напругу. Анізотропні магніторезистивні датчики виконані з тонкоплівкового нікель-заліза (Permalloy) і зображені у вигляді резистивного смугового елемента. При наявності магнітного поля зміни в резистивних елементах мосту викликають відповідні зміни напруги на виходах мосту.

Ці резистивні елементи вирівнюються разом, щоб мати спільну чутливу вісь (позначена стрілками на схемі виведення), що забезпечить позитивну зміну напруги при збільшенні магнітних полів у чутливому напрямку. Оскільки вихідний сигнал пропорційний лише компоненті магнітного поля уздовж своєї осі, додаткові мости датчика розташовуються в ортогональних напрямках для точного вимірювання магнітного поля у будь-якій орієнтації.

Самотест. Щоб перевірити роботу HMC5883L включена функція самотестування, в якій датчик збуджується номінальним магнітним полем всередині (при позитивному або негативному зміщенні нуля). Потім це поле вимірюється. Ця функція доступна, а полярність встановлюється бітами MS [n] в реєстрі конфігурації А. Внутрішнє джерело струму генерує постійний струм (близько 10 мкА) з джерела живлення VDD. Цей постійний струм застосовується для зміщення шини магніторезистивного датчика, що створює штучне зміщення магнітного поля.

Управління живленням. Цей пристрій має два різних блоки живлення. Перший - це VDD, який є джерелом живлення для внутрішніх операцій, а другий - VDDIO. Можна працювати з VDDIO, що дорівнює VDD; Режим VDDIO нижче VDD, що дозволяє HMC5883L бути сумісним з іншими пристроями на платі.

Інтерфейс I²C. Контроль цього пристрою здійснюється через шину I²C. Цей пристрій підключається до шини I²C як виконавчий пристрій під керуванням головного пристрою, такого як процесор. Цей пристрій сумісний із специфікацією I²C-Bus, за номером документа: 9398 393 40011. Як сумісний із пристроєм I²C, пристрій має 7-бітну послідовну адресу та підтримує протоколи I²C. Цей пристрій підтримує стандартні та швидкі режими (відповідно 100 кГц і 400 кГц), але не підтримує режим високих швидкостей. Зовнішні підсилювачі резисторів необхідні для підтримки цих стандартних і швидких режимів швидкості. Дії, які вимагає I²C Master (зчитування та запис), мають пріоритет над внутрішніми діями, такими як вимірювання. Мета цього пріоритету полягає в тому, щоб не тримати I²C Master в очікуванні і не затримувати шину I²C довше, ніж це потрібно.

Внутрішній годинник. Пристрій має внутрішній годинник для вбудованих функцій цифрової логіки та управління часом.

Режими використання HMC5883

Цей пристрій має декілька режимів роботи, основною метою яких є керування живленням та управління регістром режимів. Даний розділ описує ці режими.

Режим безперервного вимірювання

Під час режиму безперервного вимірювання, пристрій постійно робить вимірювання, з вибраною користувачем частотою, та розміщує виміряні данні у регістрі вихідних даних. Якщо необхідно, данні можуть бути перезаписані; однак, якщо I²C master не забезпечує доступ до реєстру даних до завершення наступного

вимірювання, регістри виведення даних оновлюються з новим вимірюванням. Щоб зберегти струм між вимірами, пристрій вмикають в режимі очікування, але регістр режиму не змінюється на режим очікування. Тобто, біти MD [n] не змінюються (результат вимірювання не змінюється). В режимі безперервного вимірювання параметри реєстру A впливають на швидкість виводу даних (біт DO [n]) та конфігурацію вимірювання (біт MS [n]). Всі регістри підтримують значення в режимі безперервного вимірювання. Шина I2C увімкнена в режимі безперервного вимірювання для використання іншими пристроями в мережі.

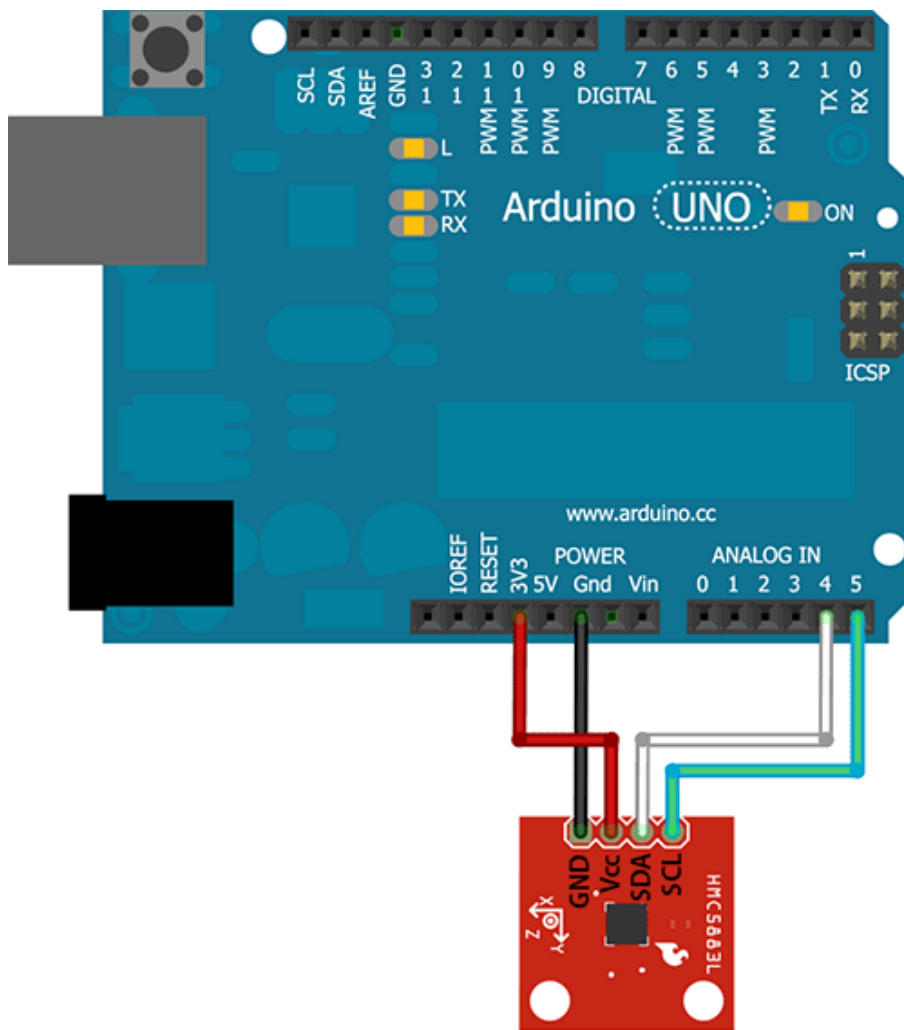
Режим одиночного вимірювання

Це типовий режим включення живлення. Під час одиночного вимірювання пристрій робить одне вимірювання та розміщує вимірювані дані у регістрах виведення даних. Після того, як вимірювання завершено, а регістри вихідних даних оновлюються, пристрій переключається в режим очікування, а реєстр режимів переходить в режим очікування. В режимі одиночного вимірювання налаштування в реєстрі конфігурацій впливають на конфігурацію вимірювань (біти MS [n]). Усі регістри підтримують значення в режимі одиночного вимірювання. Шина I2C увімкнена в режимі одиночного вимірювання для використання іншими пристроями в мережі.

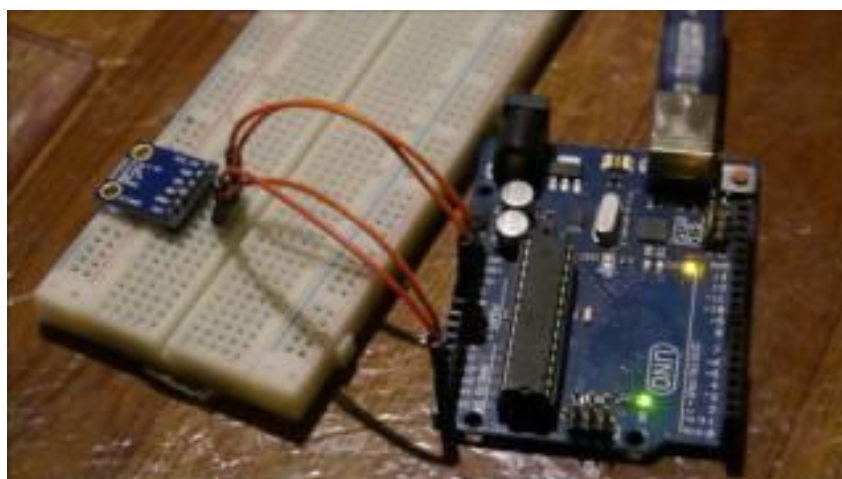
Режим очікування

У цьому режимі пристрій доступний через шину I2C, але основні джерела споживання енергії відключені, наприклад (але не обмежуючись) АЦП, підсилювач та струм зміщення. Всі регістри підтримують значення в режимі очікування. Автосигнал I2C активується в режимі очікування для використання іншими пристроями в мережі.

Підключення магнітометра до плати мікроконтролера показано на рис. 2.3.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Схема підключення магнітометра HMC5883 до плати Arduino UNO: (а) – схема; (б) - фото

Магнітометр потрібно обов'язково калібрувати перед кожним польотом БПЛА (квадрокоптера). Задачею калібрування є отримання коректувальної матриці, за допомогою якої можна розраховувати актуальні (відкалібровані) значення. Обчислений, відкалібрований результат отримується шляхом множення значень, зчитаних із датчика, на коректувальну матрицю.

3.2. Мікроконтролер Arduino UNO та особливості його конфігурації

Для підключення модуля HMC5883 до комп'ютера в лабораторній роботі використовується мікроконтролер Arduino UNO — апаратна обчислювальна платформа, основними компонентами якої є плата вводу/виводу (рис. 2.4) та середовище розробки на мові Processing/Wiring. Arduino – це інструмент для проектування електронних пристроїв (електронний конструктор). Це платформа, призначена для «physical computing» з відкритим програмним кодом, побудована на простій друкованій платі з сучасним середовищем для написання програмного забезпечення.

Arduino застосовується для створення електронних пристроїв з можливістю прийому сигналів від різних цифрових і аналогових датчиків, які можуть бути підключені до неї, і управління різними виконавчими пристроями. Проекти пристроїв, засновані на Arduino, можуть працювати самостійно або взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютері (наприклад Flash, Processing, MaxMSP).

Мова програмування Arduino є реалізацією Wiring, схожої платформи для «physical computing», заснованої на мультимедійному середовищі програмування Processing.

Оригінальні плати Arduino виробляються фірмою Smart Projects. На даний момент доступно 20 версій плат, які різняться характеристиками мікроконтролера та кількістю аналогових і цифрових виводів.

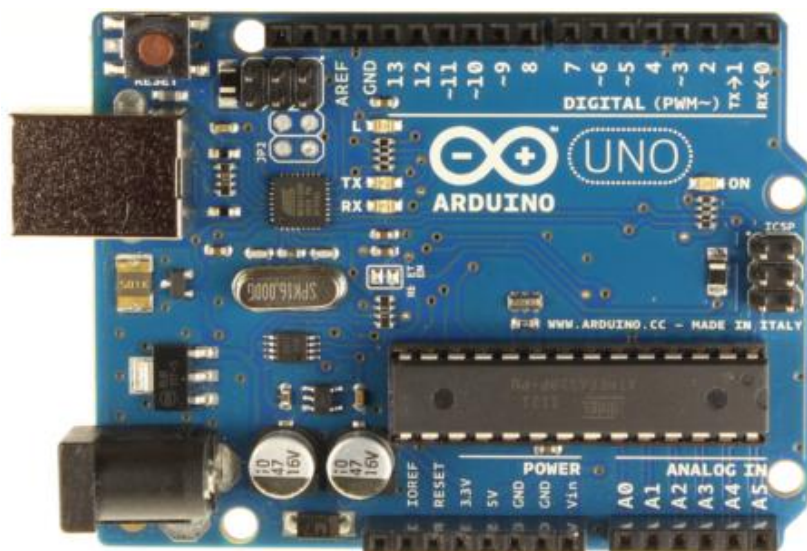


Рисунок 2.4 – Плата мікроконтролеру Arduino UNO

У мікроконтролері Arduino UNO:

- Кнопка скидання – здійснює скидання мікроконтролері і повторний запуск програми;
- Порт USB – забезпечує зв'язок із ПК, програмування та живлення пристрою;
- Живлення +5В – живлення від зовнішнього джерела (батарея, блок живлення).

Характеристики мікроконтролера представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Характеристики мікроконтролера Arduino UNO

Характеристика мікроконтролера	Значення
Робоча напруга	5 В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12 В
Напруга живлення (граничне)	6-20 В
Цифрові входи / виходи	14 (з яких 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виводу	40 мА

Максимальний вихідний струм виводу 3.3V	50 мА
Flash-пам'ять	32 КБ з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц

В якості зовнішнього джерела живлення (окрім USB) може використовуватися мережевий AC / DC-адаптер або акумулятор / батарея. Штекер адаптера (діаметр – 2,1 мм, центральний контакт – додатний) необхідно вставити у відповідний роз'єм живлення на платі. У разі живлення від акумулятора / батареї, її проводи необхідно під'єднати до виводів Gnd і Vin роз'єму POWER.

Функції читання/запису з контактів Arduino:

1. `digitalRead (pin)` – функція зчитує із заданого входу значення HIGH або LOW;
2. `digitalWrite (pin, value)` – подає на цифровий вхід/вихід значення HIGH або LOW;
3. `analogRead (pin)` – функція зчитує значення із заданого аналогового входу;
4. `analogWrite (pin, value)` – формує задану аналогову напругу на виводі у виді ШІМ-сигналу.

Значення в швидкості зв'язку в моніторі порту повинно відповідати значенню, зазначеному в параметрах в функції `begin ()`.

Для роботи з послідовним портом існують функції класу `Serial`. Нижче перераховані основні з них:

1. `Serial.begin ()` - задає швидкість передачі даних через послідовний порт в бітах в секунду (бодах). У параметрах вказується швидкість передачі. Для взаємодії з комп'ютером слід використовувати одну з попередньо встановлених швидкостей обміну: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 або

115200. Для взаємодії з будь-якими іншими пристроями через 0 і 1 виводи можна задавати інші швидкості. Зазвичай ця функція викликається всередині функції `setup()`.

2. `Serial.available()` - отримує кількість байт, що надійшли на порт. Отримані байти записуються в буфер послідовного порту. У буфері може перебувати до 64 байт.

3. `Serial.read()` - зчитує черговий доступний байт з буфера послідовного порту.

4. `Serial.print()` - посилає дані через послідовний порт як ASCII текст.

5. `Serial.println()` - функція аналогічна `Serial.print()`, але додає даними ознака кінця рядка і повернення каретки.

4. Підготовка до виконання роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи кожен студент самостійно повинен виконати наступне:

- підготувати протокол виконання лабораторної роботи відповідно до вимог п. 6.;
- вивчити конструкцію та принцип дії магнітометра HMC5883, схему з'єднання та правила користування мікроконтролером Arduino UNO.

5. Порядок виконання роботи

Лабораторну роботу кожен студент повинен виконати індивідуально в наступній послідовності:

- 5.1. Одержати допуск до виконання роботи, відповівши на питання викладача.
- 5.2. За схемою (рис. 2.3, а) підключити магнітометр HMC5883 до мікроконтролера Arduino UNO.
- 5.3. Підключити живлення, та перевірити працездатність зібраної схеми.
- 5.4. Провести підключення датчика HMC5883 до мікроконтролера та добитися їхньої синхронної роботи.

6. Зміст звіту

У звіті з лабораторної роботи повинні бути представлені наступні матеріали:

- 1). Основні теоретичні відомості за тематикою лабораторної роботи.
- 2). Результати експериментальних досліджень.
- 3). Висновки за проведеними дослідженнями.

6. Контрольні запитання

1. На якому принципі проводиться вимірювання магнітного поля сучасними магнітометрами?
2. Яка складова магнітного поля вимірюється магнітометром НМС5883?
3. Яким чином вимірюється орієнтація ЛА за допомогою магнітометра?

8. Список рекомендованої літератури та інформаційні ресурси

1. Бараночников, М.Л. Микромагнитоэлектроника / М.Л. Бараночников. – М.: ДМК Пресс, 2002. – Т. 2. – 691 с.
2. Щербаков Г.Н., Анцелевич М.А., Удинцев Д.Н. Пути повышения помехоустойчивости магнитометрических средств поиска и их практическая реализация // Специальная техника. – 2005.– № 3.– С.19-24.
3. Хомерики, О. К. Полупроводниковые преобразователи магнитного поля / О. К. Хомерики. – М.: Энергоиздат, 1986. – 136 с.
4. Егiazарян, Г. А., Стафеев, В. И. Магнитодиоды, магниторезисторы и их применение / Г. А. Егiazарян, В. И. Стафеев. – М.: Радио и связь, 1987.- 88 с.
5. J. Vasconcelos, G. Elkaim, C. Silvestre, P. Oliveira, and B. Cardeira, “Geometric approach to strapdown magnetometer calibration in sensor frame,” *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 47, no. 2, pp. 1293–1306, Apr. 2011.

6. Y. Y. Sui, S. L. Wang, H. Meng, and J. Lin, “An analysis and elimination of zero drift in magnetic gradient tensor exploration system,” in *Proc. 3rd Int. Conf. Meas. Technol. Mechatron. Autom.*, 2011, pp. 371–374.

ІІІ. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ, КОНСТРУКЦІЇ І НАДІЙНОСТІ МІНІАТЮРНОГО АЛЬТИМЕТРА НА БАЗІ П'ЄЗОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА БАРОМЕТРИЧНОГО ТИСКУ ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРІВ

1. Мета роботи

1.3. Вивчення схеми і конструкції мініатюрного альтиметра на базі п'єзореzystивного датчика барометричного тиску для вимірювання висоти польоту квадрокоптерів та експериментальне дослідження його працездатності і аналіз показників надійності.

2. Стислі теоретичні відомості

2.1. Вимірювання висоти польоту квадрокоптерів

Розрізняють наступні висоти польоту безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема квадрокоптерів (рис. 3.1).

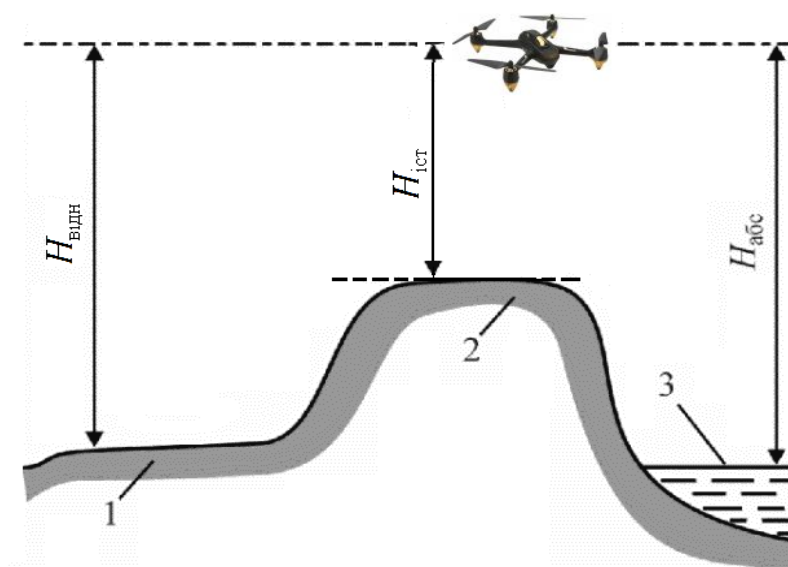


Рисунок 3.1 – Висота польоту ЛА:

1 – місце зльоту; 2 – гора; 3 – рівень моря; $H_{\text{абс}}$ – абсолютна висота;
 $H_{\text{іст}}$ – істинна висота; $H_{\text{відн}}$ – відносна висота

- *Абсолютна висота* - це висота польоту БПЛА щодо рівня моря. Вона не залежить від рельєфу місцевості, над якою пролітає БПЛА.
- *Істинна висота*, тобто висота над місцевістю, над якою пролітає БПЛА в даний момент часу. Вона дорівнює різниці між абсолютною висотою й висотою місцевості над рівнем моря.
- *Відносна висота*, тобто висота польоту щодо якого-небудь умовного місця, наприклад, місця зльоту БПЛА.

Абсолютна висота використовується при випробуваннях БПЛА, а також при витримці заданої висоти в режимі Altitude Hold Mode (автоматичне підтримання висоти) для безаварійної посадки квадрокоптера, коли ЛА легко зависає у повітрі і утримується в зафіксованому положенні над землею. Така функція «зависання» корисна також при проведенні аерофотозйомок.

В режимі автоматичного підтримання висоти Altitude Hold Mode квадровод (пілот квадрокоптера) може керувати нахилами вліво/вправо (креном), тангажем (коли ніс квадрокоптера піднімається/опускається) і рисканням (коли квадрокоптер коливається навколо своєї осі), *не міняючи висоти польоту*.

Відносна висота враховується при зльоті і посадці; істинну висоту необхідно знати практично на всіх етапах польоту.

2.3. Барометричний метод вимірювання висоти

Барометричний метод засновано на залежності атмосферного тиску P від висоти H . Барометричний метод дозволяє вимірювати *абсолютну* і *відносну* висоти польоту БПЛА.

Розрізняють три види тиску: абсолютний тиск, відносний тиск і диференціальний тиск (рис. 3.2).

Абсолютний тиск – це абсолютне значення сили, віднесене до одиниці поверхні. Тому абсолютний тиск – це різниця між тиском в даній точці середовища і абсолютним нульовим тиском, який відповідає тиску в абсолютному вакуумі.

Відносний тиск – різниця між абсолютним тиском і місцевим атмосферним тиском. Місцевий атмосферний тиск може змінюватись в залежності від навколишньої температури, висоти над рівнем моря і місцевих погодних умов. При вимірюванні відносного тиску важливо, який тиск є опорним.

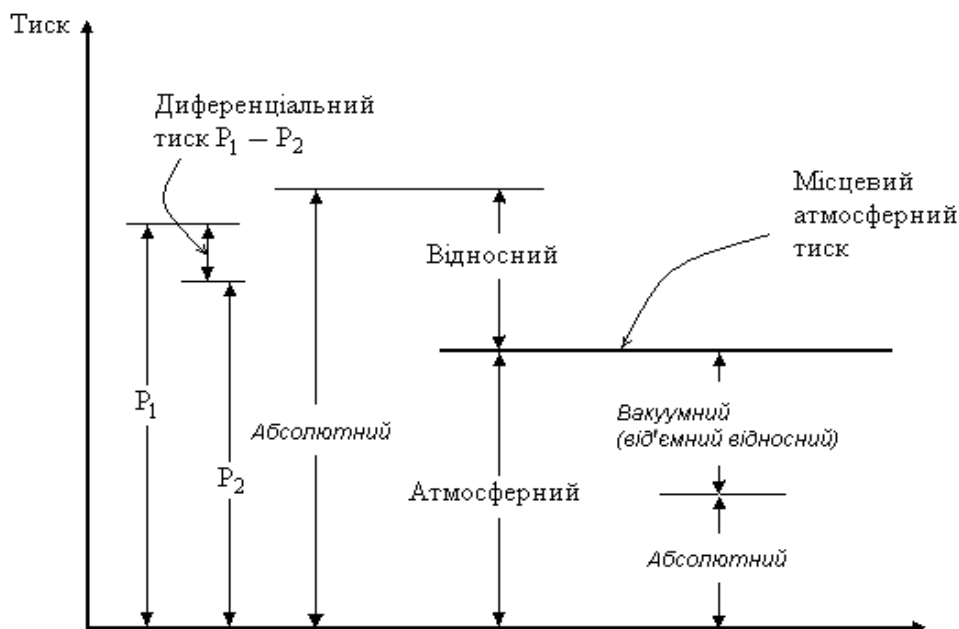


Рисунок 3.2 – Види тиску

«Додатний» відносний тиск називають *надлишковим*. Відносний тиск згідно домовленостей не завжди додатний. «Від’ємний» відносний тиск визначається як *вакуумний*. Вакуумним називається тиск, менший за місцевий абсолютний атмосферний тиск.

Абсолютний тиск повітря зі зростанням висоти зменшується. Даний принцип покладений в основу приладу, що вимірює не висоту, а тиск повітря. При виводі формул, що виражають залежність абсолютного тиску P від висоти H , враховується зміна густини і температури повітря з висотою згідно стандартній атмосфері. Середня зміна температури T_H з підйомом на висоту до 11000 м, наприклад, за стандартною атмосферою СА-73, враховується за допомогою температурного градієнту висоти $\tau_B = 0,0065$ К/м: $T_H = T_0 - \tau_B H$, де T_0 – початкове значення абсолютної температури повітря.

На висотах від 11000 до 20000 м температура T_H не змінюється ($T_H = 216,65$ K), а на більших висотах вона змінюється за особливим законом (рис. 3.3).

Чинна на теперішній час стандартна атмосфера СА-81, ГОСТ 4401-81 відповідає міжнародному стандарту ISO 2533-75.

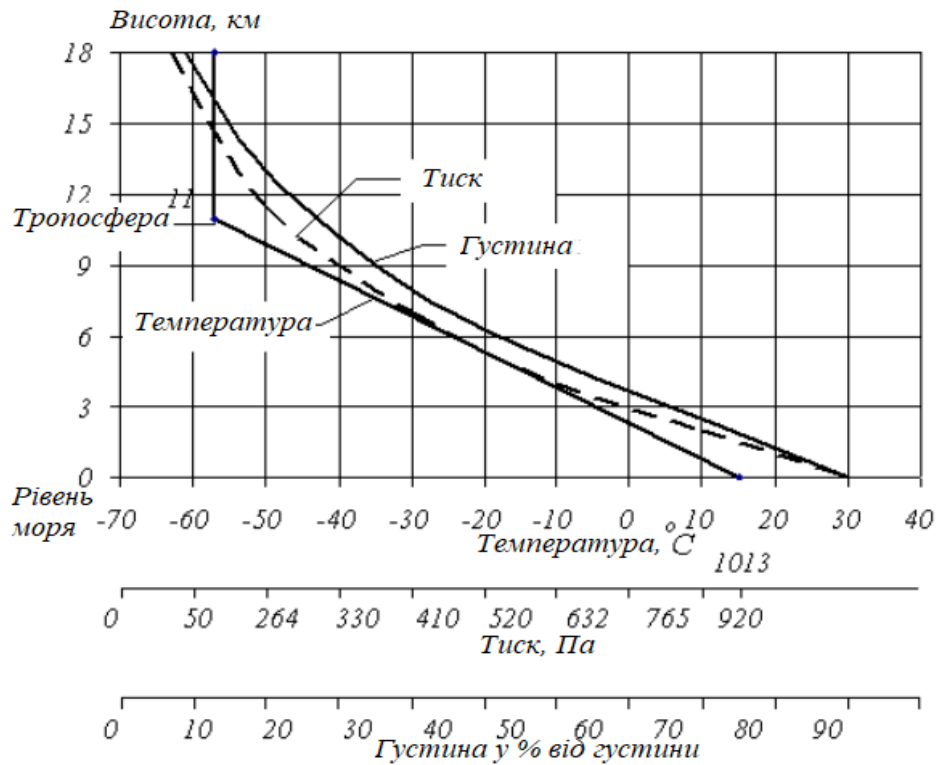


Рисунок 3.3 – Залежність тиску і температури повітря в стандартній атмосфері (СА)

Стандартна барометрична формула для діапазону висот до 11000 м:

$$P_H = P_0 \left(1 - \frac{\tau_B}{T_0} H \right)^{\frac{g_0}{\tau_B R_f}}, \quad (3.1)$$

де $R_n = \frac{R}{\mu_m}$ – питома газова стала (для повітря $R_n = 287,05287$ Дж/кгК), R – молярна (універсальна) газова стала; μ_m – маса одного моля; g_0 – початкове значення прискорення вільного падіння.

Для великих висот (до 20000 м) в рівняння (3.1) необхідно замість температури T підставити температуру T_{11} на висоті 11000 м. Після інтегрування отримуємо

$$P_H = P_{11} e^{\frac{-g_0(H-H_{11})}{R_n T_{11}}}, \quad (3.2)$$

де $P_{11} = 22632$ Па – тиск на висоті $H_{11} = 11000$ м; $T_{11} = 216,65$ К.

Розв'язавши формули (3.1), (3.2) відносно висоти H , отримують стандартні гіпсометричні формули:

$$H = \frac{T_0}{\tau_B} \left[1 - \left(\frac{P_H}{P_0} \right)^{\frac{\tau_B}{g_0} R_n} \right] \quad \text{для } H \leq 11000 \text{ м}; \quad (3.3)$$

$$H = H_{11} + \frac{R_n T_{11}}{g_0} \ln \frac{P_{11}}{P_H} \quad \text{для } 11000 \text{ м} < H \leq 20000 \text{ м}. \quad (3.4)$$

Ці формули показують, що за відомих P_0 , T_0 або R_{11} , T_{11} можна вимірювати висоту в функції від тиску P .

Зазвичай тиск на висоті H польоту вимірюють барометром, шкала якого відградує в одиницях висоти. Такий барометричний висотомір (альтиметр) показує висоту відносно середнього рівня моря.

В деяких вимірювачах висоти використовуються приблизні гіпсометричні формули Лапласа, в котрих температура T_n на висоті польоту замінюється середньою температурою стовпа висотою H згідно виразів

$$T_{\text{сер}} = \frac{T_0 + T_H}{2} \quad \text{для } H \leq 11000 \text{ м}, \quad (3.5)$$

$$T_{\text{сер}} = T_{11} + \frac{(T_0 - T_{11})H_{11}}{2H} \quad \text{для } H > 11000 \text{ м}. \quad (3.6)$$

З урахуванням формул (3.5), (3.6) після інтегрування можна отримати *барометричні* формули Лапласа

$$P_H = P_0 e^{\frac{-g_0 H}{R_n T_{\text{сер}}}} \quad \text{для } H \leq 11000 \text{ м};$$

$$P_H = P_0 e^{\frac{-2g_0 H^2}{R_n [(T_0 - T_{11})H_{11} + 2T_{11}H]}} \quad \text{для } 11000 < H \leq 20000 \text{ м}.$$

В цьому випадку *гіпсометричні* формули мають вигляд:

$$H = \frac{R_n}{g_0} T_{\text{сер}} \ln \frac{P_0}{P_H} \quad \text{для } H \leq 11000 \text{ м}; \quad (3.7)$$

$$H = \frac{R_n}{g_0} \left(T_{11} + \frac{(T_0 - T_{11})}{2} \frac{H_{11}}{H} \right) \cdot \ln \frac{P_0}{P_H} \quad \text{для } 11000 \text{ м} < H \leq 20000 \text{ м}.$$

3. Опис лабораторного устаткування

3.1. П'єзорезистивний датчик тиску BMP280

В сучасних квадрокоптерах для вимірювання висоти польоту використовується барометричний висотомір на базі цифрового п'єзорезистивного датчика повітряного тиску (модуль з барометром типу BMP280, розробка фірми BOSCH), представлений на фото (рис. 3.4). Модуль типу BMP280 також має вбудований датчик температури.

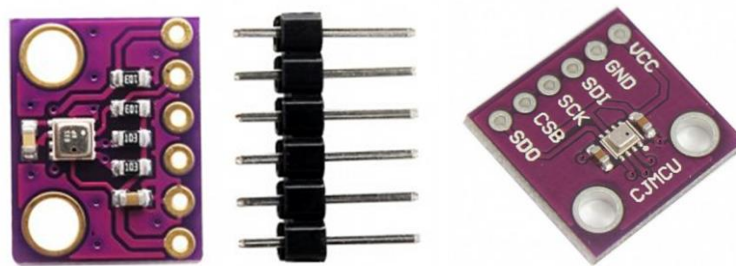


Рисунок 3.4 – П'єзорезистивний датчик атмосферного тиску типу BMP280

Барометричний датчик тиску BMP280 (барометр) використовується для вимірювання барометричного, абсолютного, диференціального, надлишкового тиску, а також значення температури і вологості навколишнього середовища.

Чутливим елементом датчика є мембрана в корпусі, яка працює на п'єзорезистивному принципі. П'єзорезистивний ефект – залежність опору матеріалу від величини його деформації. Структурна схема представлена на рис. 3.5.

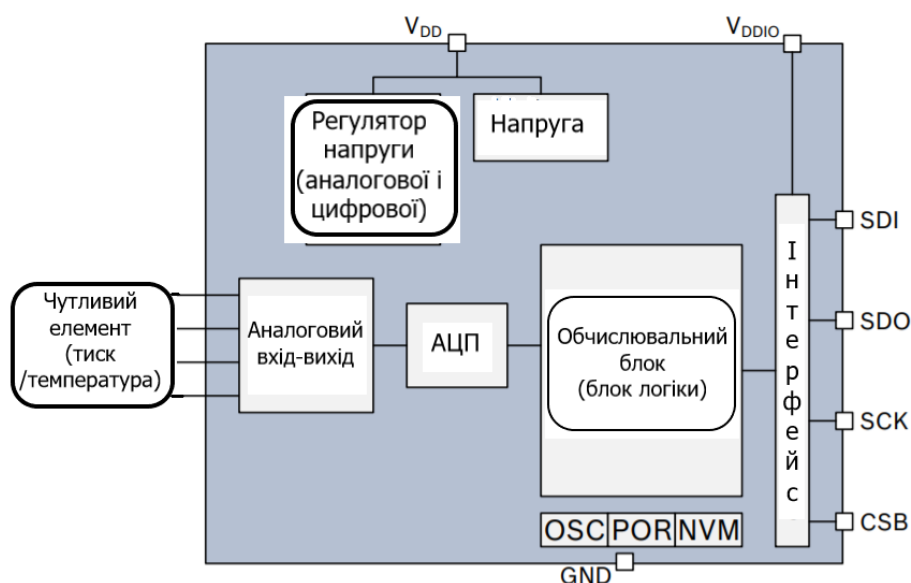


Рисунок 3.5 – Структурна схема BMP280

BMP280 має 6-ти піновий роз'єм для підключення даних і живлення:

- VCC – напруга живлення;
- GND – земля;
- SCK – Serial Clock;
- SDI – Serial Data;
- CSB – інтерфейс SPI;
- SDO – інтерфейс SPI.

На фото рис. 3.6 представлено підключення барометра BMP280 до плати Arduino UNO.

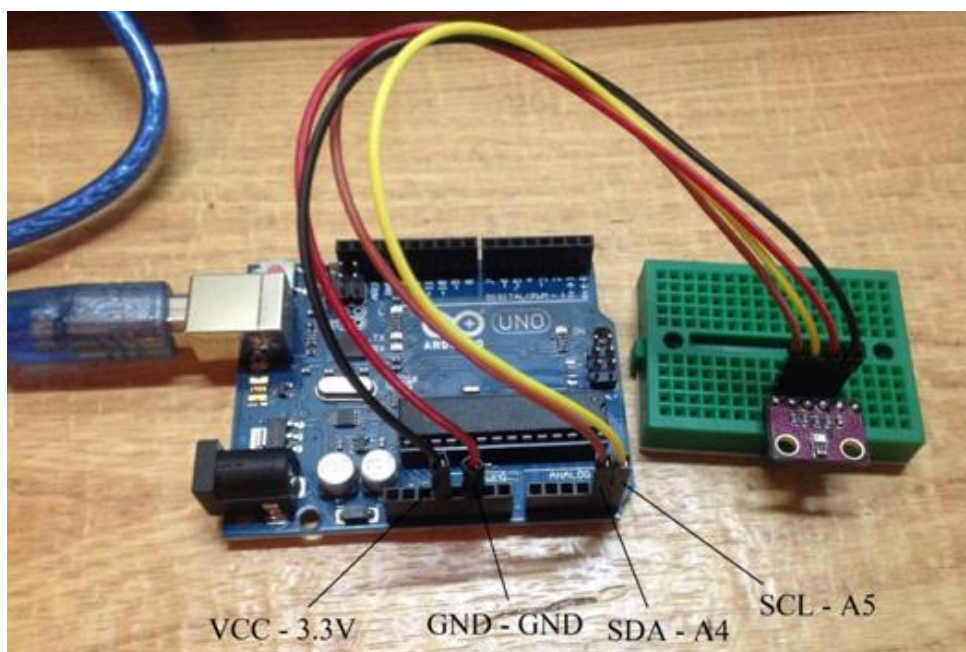


Рисунок 3.6 – Лабораторний макет барометричного висотоміра на базі п'єзорезистивного датчика типу BMP280

Датчик може працювати за інтерфейсів I2C і SPI. За замовчуванням BMP280 працює за інтерфейсом SPI. Для використання інтерфейсу I2C потрібно на контакт CSB подати +3,3 Ст.

BMP280 має три режими роботи:

- Sleep – режим сну;

- **Forced** – режим аналогічний BMP085 і BMP180: команда на вимірювання, процес вимірювання, зчитування значень, перехід в сплячий режим;
- **Normal** – датчик працює циклічно. Через заданий час датчик виходить із режиму сну, виконує вимірювання, зберігає дані і йде в режим сну на вказаний час.

Живлення датчика тиску здійснюється від контролера Arduino або від іншого мікропроцесорного керуючого пристрою. Датчик може живитися від напруги 1,62 – 3,6 В.

Характеристики барометра типу BMP280: живлення: 1.8-3.6 В; інтерфейси: I²C (up to 3.4 MHz, 1.2 - 3.6 V) SPI (3 and 4 wire, up to 10 MHz); діапазон тиску: 110 kPa (-500 м) - 30 kPa (+9000 м); роздільна здатність тиску: 0,16 Па; роздільна здатність температури: 0,01 °С (-40 ... +85 °С); споживання струму: 2.7 мкА (1 Гц); споживання струму в режимі «низького споживання»: 0,5 мА; частота шини ІС: 3,4 МГц; час спрацьовування: 2 мс; - точність вимірювання тиску: 0,1 гектопаскаль (менше 10 см); точність вимірювання температури: 0,01°С; розміри: 2.0 * 2.5 * 0.95 мм; вага: 1 гр.

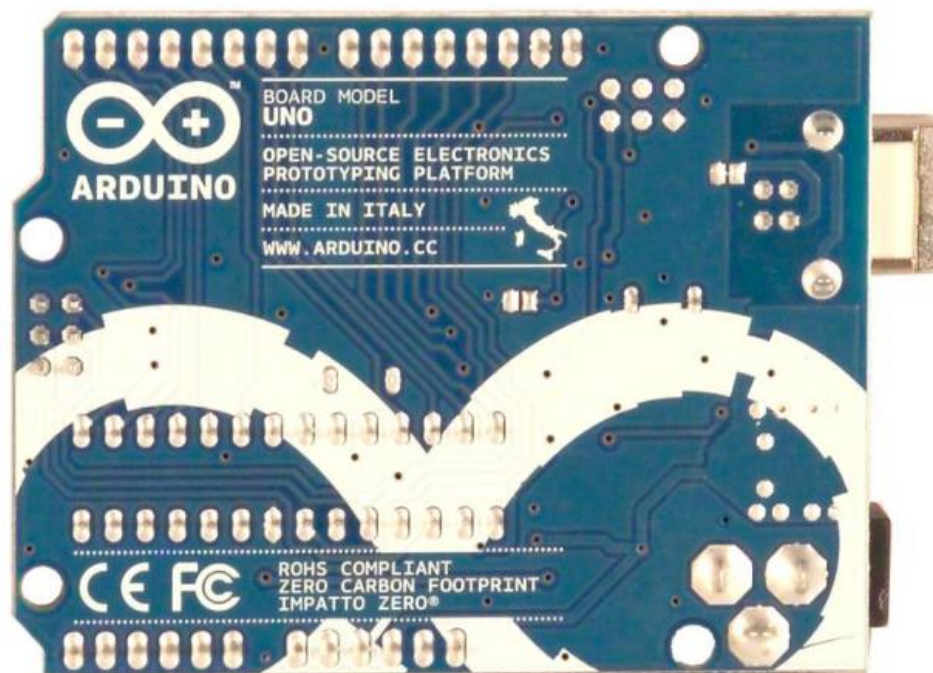
3.2. Мікроконтролер Arduino UNO та особливості його конфігурації

Для підключення модуля BMP280 до комп'ютера в лабораторній роботі використовується мікроконтролер Arduino UNO (рис. 3.7) — апаратна обчислювальна платформа, основними компонентами якої є плата вводу/виводу та середовище програмної розробки (див. лабораторну роботу № 2).

Контролер **Arduino Uno** побудований на мікрочіпі **ATmega328**. Платформа має 14 цифрових входів/виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШИМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB.



a)



б)

Рисунок 3.7 – Мікроконтролер Arduino UNO відповідно:
(а) - вид зверху, (б) – вид знизу

Характеристики мікроконтролера представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Характеристики платформи Arduino UNO

Найменування характеристики	Значення
Робоча напруга	5 В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12 В
Напруга живлення (гранична)	6-20 В
Цифрові входи / виходи	14 (з яких 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Максимальний вихідний струм виводу 3.3V	50 мА
Flash-пам'ять	32 КБ (АТmega328), з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем
SRAM (ОЗУ)	2 КБ (АТmega328)
EEPROM	1 КБ (АТmega328)
Тактова частота	16 МГц

3.3. Макетна плата MB-102

Для лабораторного макету потрібна макетна плата (рис. 3.8) має 30 пінів в довжину (400 отворів), розміри яких 8.2 см х 6.2 см. З боків розташовано по дві "рейки" для підключення шини живлення.

Характеристики макетної плати:

- 400 отворів;
- 2 лінії для підключення живлення;

- горизонтально 30 рядів отворів;
- вертикально 10 (не враховуючи 4 отвори для живлення);
- розміри 8,2 см х 6,2 см.



Рисунок 3.8 – Конструкція макетної плати MB-102

Також для роботи потрібні набір перемичок (рис. 3.9).

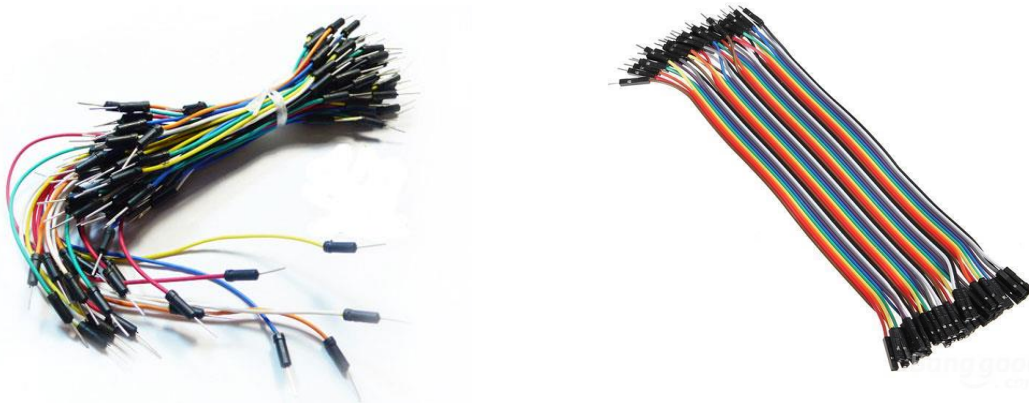


Рисунок 3.9 – Набір перемичок

3.4. Схема підключення BMP280 до Arduino UNO

Встановіть модуль BMP280 на макетну плату MB-102. З використанням перемичок підключіть модуль BMP280 за схемою підключення (рис. 3.10).

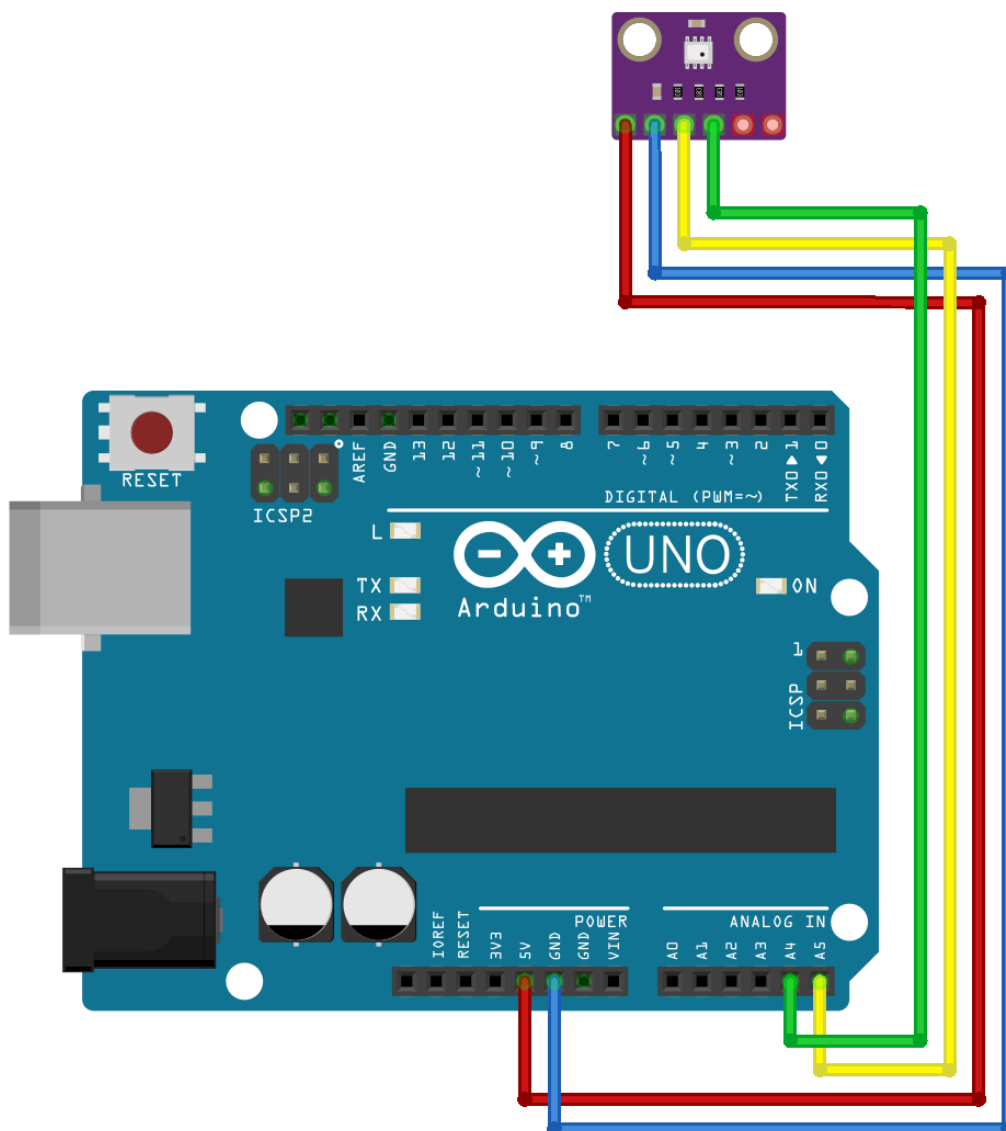


Рисунок 3.10 – Схема підключення BMP280 до Arduino UNO

Arduino pin:	BMP280 pin:
+5V	+5V (VCC)
GND	GND
A5	SCL Serial Clock (line)
A4	SDA Serial Clock (data)

3.5. Підключення Arduino UNO до комп'ютера

Підключення виконується через USB-роз'єм.

4. Підготовка до виконання роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи кожен студент самостійно повинен виконати наступне:

- підготувати протокол виконання лабораторної роботи відповідно до вимог п. 6.;
- вивчити конструкцію та принцип дії BMP280, схему з'єднання та правила користування мікроконтролером Arduino UNO.

5. Порядок виконання роботи

Лабораторну роботу кожен студент повинен виконати індивідуально в наступній послідовності:

- 5.1. Одержати допуск до виконання роботи, відповівши на питання викладача.
 - 5.2. Визначити атмосферний тиск і температуру в лабораторії за показаннями зразкового манометра абсолютного тиску і зразкового термометра.
 - 5.3. За схемою (рис. 3.10) підключити датчик BMP280 до мікроконтролера Arduino UNO.
 - 5.4. Підключити живлення, та перевірити працездатність зібраної схеми.
 - 5.5. Провести підключення датчика до мікроконтролера та добитися їхньої синхронної роботи. Для цього підключити BMP280 до плати Arduino:
 - Конт VCC – це живлення 3 В (4-й пін зверху).
 - Gnd – земля (пін 6-й або 7-й зверху).
 - SCL – на A5 (останній пін), вихід даних.
 - SDA – на A4 (передостанній пін), теж вихід даних.
- Включаємо плату в роз'єм USB системного блоку комп'ютера.
- Далі - запускаємо програму Arduino на комп'ютері (рис. 3.11).

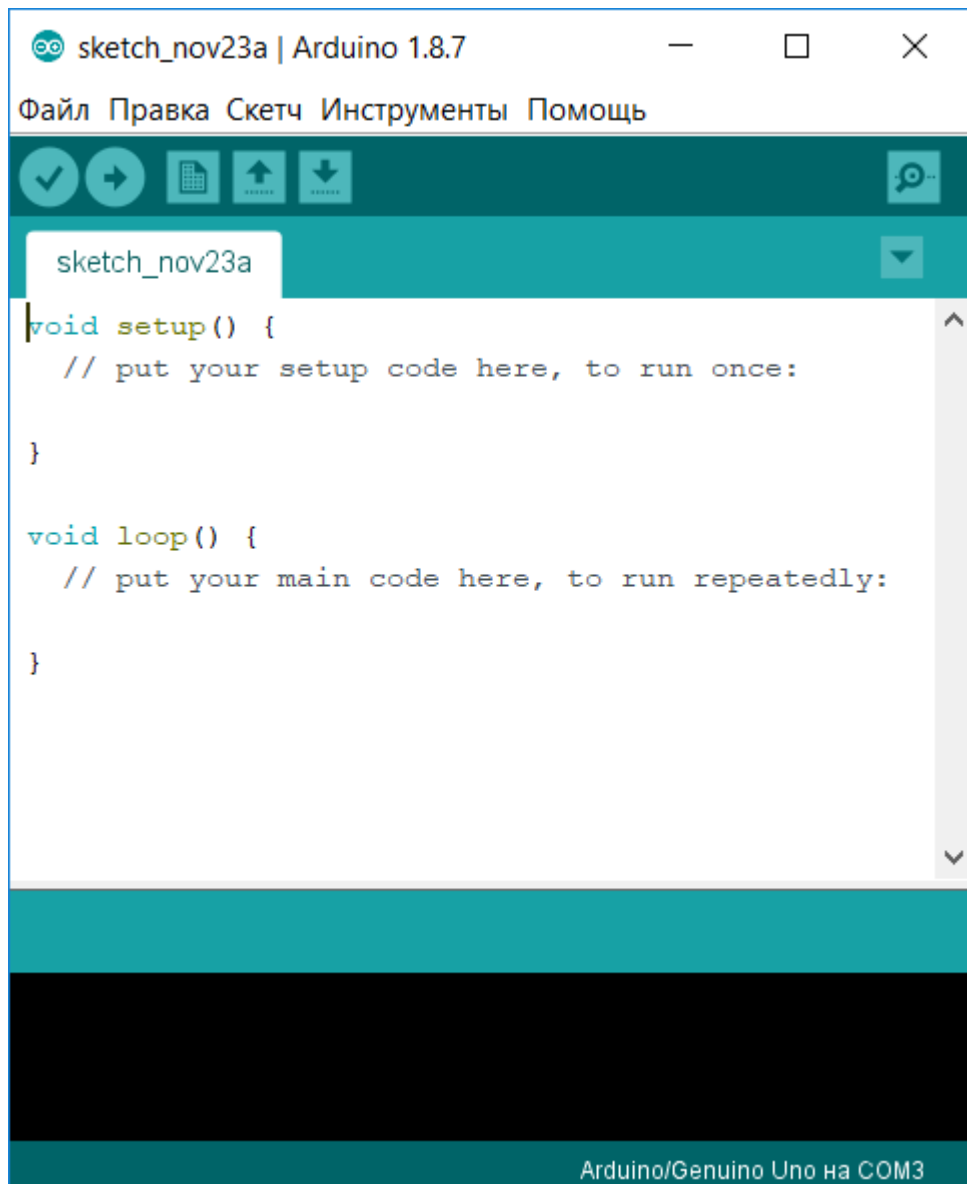



Рисунок 3.11 – Інтерфейс програмного середовища розробки Arduino

5.5.1. Перевірка роботи схеми. Вибрати меню «Файл» - «Примеры»


Adafruit BMP280 Library – bmp280test (це бібліотека стандартних прикладів).

Запускаємо.

5.5.2. Перевірка на наявність помилок:  - компілятор.

- Нажимаємо до повідомлення «Компіляція завершена».
- Якщо немає помилок – видається повідомлення «10204 байт (31%)

памяти, всего доступно 32256 байт....»


- Якщо є помилка (її треба «спровокувати» в навчальних цілях), то перевірка  дає місце помилки (виділяє строчку після неї) і показує, що саме за помилка.


5.5.3. Пошук і завантаження потрібної бібліотеки.

Вибираємо «Скетч», далі вибираємо – підключити бібліотеку, додаємо архів потрібної бібліотеки в форматі *.zip (кнопка «Додати *.zip бібліотеку»).

Якщо є підключення до Інтернету – нажимаємо «Управління бібліотеками» - з'являється «Менеджер бібліотек». Вибираємо тип Ардуїно або залишаємо «Все».

В верхній правій строчці вводимо тип датчика BMP280. Після того, як бібліотека знайдена, нажимаємо «Установити». Після установки в «Прикладах» вибрати в полі «Примеры из пользовательской библиотеки» і знайти тип датчика.

Нажимаємо  - іде завантаження до появи «завантаження завершено».

5.5.4. Нажимаємо «Монитор порту»  в правому верхньому куту програми і отримуємо дані з датчика (барометра): - температуру, тиск, висоту над рівнем моря.

5.6. За показанням барометра і формулою (3.7) розрахувати висоту лабораторії, в якій проводяться дослідження, над середнім рівнем моря.

5.7. Порівняти показання барометра з отриманими результатами розрахунків за формулою (3.7).

6. Зміст звіту

У звіті з лабораторної роботи повинні бути представлені наступні матеріали:

- 1). Основні теоретичні відомості за тематикою лабораторної роботи.
- 2). Результати розрахунків висоти робочого місця в лабораторії над середнім рівнем моря.
- 3). Результати експериментальних досліджень.
- 4). Висновки про проведені дослідження.

7. Контрольні запитання

1. Які види тиску розрізняють в техніці?
2. Які види висоти польоту БПЛА відомі, за якими причинами їх розрізняють?
3. Чим відрізняються гіпсометрична і барометрична формули стандартної атмосфери?
4. Який принцип роботи п'єзорезистивного датчика тиску?
5. Що таке режим Altitude Hold Mode?
6. Як розрахувати висоту робочого місця над рівнем моря?

8. Список рекомендованої літератури та інформаційні ресурси

1. Браславский Д. А., Логунов С. С., Пельпор Д. С. Авиационные приборы и автоматы: Учебник для авиационных ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1978, – 432 с.
2. Авиационные приборы: электрон. учеб.-метод. комплекс по дисциплине / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. В. А. Прилепский, Н. А. Яковенко. - Электрон. текстовые и граф. дан. (396 Мбайт). - Самара, 2012. [Электронный ресурс] [Режим доступа]:
https://ssau.ru/files/education/uch_posob/%D0%90%D0%B2%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B-%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BF%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%92%D0%90.pdf
3. Федоров, С. М. Бортовые информационно-управляющие системы: [учеб. для высш. летных учеб. завед. ГА] / С.М. Федоров, О.И. Михайлов, Н.Н. Сухих; под ред. С.М. Федорова. – М.: Транспорт, 1994. – 261 с.

4. Степнова Е.И. Измерители высоты полета. Информационно – методический материал – Ульяновск, 2012. – 35 с.
5. Datasheet <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>
6. Бібліотека Library https://github.com/adafruit/Adafruit_BMP280_Library